

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky

## **DISERTAČNÍ PRÁCE**

2012

Iva Petříková

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra telekomunikační techniky

---

## **VLIV RUŠENÍ NA PŘENOS ŠIROKOPÁSMOVÝCH SIGNÁLŮ V PŘÍSTUPOVÉ SÍTI**

Disertační práce

The Interference on the Transmission of Broadcast Signals  
in the Access Network

*Doktorský studijní program:*

*P1807 Informatika, komunikační technologie a aplikované matematika*

*Studijní obor: 2601V018 Komunikační technologie*

*Školitel: prof. Ing. Zdeněk Diviš, CSc.*

*Autor: Ing. Iva Petříková*

Ostrava, 2012

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že disertační práci na téma *Vliv rušení na přenos širokopásmových signálů v přístupové síti* jsem vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů uvedených v kapitole *Použitá literatura*.

V Ostravě

## PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému školiteli panu prof. Ing. Zdeňku Divišovi, CSc., za všechny odborné rady, konzultace a trpělivé vedení po celou dobu doktorského studia. Za všestrannou podporu a každé povzbuzení děkuji také mým nejbližším.

## ABSTRAKT

Disertační práce se zabývá rušením v přístupových sítích a řeší problematiku pro existující metalická telefonní přístupová vedení umožňující poskytovat širokopásmové služby. Řešení je zaměřeno na účastnické vedení, tj. vedení mezi místní telefonní ústřednou a vlastním účastníkem, resp. domácností.

Z konstrukčního hlediska je i v současné době účastnické vedení nejčastěji realizováno metalickým vedením. Vzhledem k tomu, že účastnické vedení má rozhodující vliv na kvalitu celého spojení a že je pro přenos signálů využíván kroucený pár, vystupuje do popředí problematika externího rušení přenášených signálů. Rušení má negativní vliv na kvalitu přenosu a identifikace zdroje rušení je vzhledem k nepravidelnosti značně komplikovaná. Disertační práce je orientována právě do této oblasti a jejím cílem je exaktní stanovení vlivu rušení jednotlivých, často se vyskytujících, rušících zdrojů. Experimentální část vychází z realizovaných měření přímo na účastnickém vedení.

Hlavním záměrem disertační práce bylo vytvoření metodiky umožňující s určitou pravděpodobností zjistit potenciální zdroj rušení signálů na účastnickém vedení. Problém je řešen ve dvou rovinách. V první rovině je z platných teoretických vztahů sestaven matematický model, který jako vstupní informaci akceptuje základní geometrické a elektrické parametry účastnické přípojky. Výstupem modelu je spektrum výstupního signálu při známém vstupním signálu. Jako vstupní signál je zvolen signál analogový o frekvenci 800 Hz a dva druhy signálu impulzního lišící se přenosovou rychlostí ( $64 \text{ kbit.s}^{-1}$  a  $2048 \text{ kbit.s}^{-1}$ ). Druhá rovina využívá praktické porovnání změřeného výstupního signálu na rušené účastnické přípojce s výstupem matematického modelu. Na předem známých projevech rušení různých elektrických zdrojů jsou potom z porovnání průběhů spekter stanoveny rozhodující frekvence nebo úrovně šumu a je určen potenciální zdroj rušení.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Útlum, rušení, matematický model, účastnická přípojka, symetrický pár, parametry vedení.

## ABSTRACT

This thesis deals with interference in access networks and tries to solve some issues related to the existing metallic telephone access lines that enable to provide broadband services. The solution is focused on the local loop, i.e., the line between a local telephone exchange and a subscriber, or more precisely his home.

From a structural point of view, even nowadays the local loop is mostly implemented by a metallic line. Since the local loop has a decisive influence on the quality of the connection and the twisted pair is used for transmitting signals, the issues of external interference of transmitted signals come to the fore. Interference has a negative impact on the transmission quality and the identification of interference sources is due to irregularities greatly complicated. This thesis is focused on this area and its goal is to determine exactly the effect of interference of individual, often occurring, interference sources. The experimental part is based on measurements carried out directly on the local loop.

The main intention of the thesis is to develop a methodology with the output that allows with a certain probability to determine the potential source of signal interference on the local loop. The problem is solved in two ways. Firstly, based on valid theoretical expressions, a mathematical model is created that accepts as input information the basic geometrical and electrical parameters of the local loop. The output of the model is a spectrum of the output signal for the known input signal. As the input signal, an analog signal at a frequency of 800 Hz and two kinds of pulse signals with different transmission speeds ( $64 \text{ kbit.s}^{-1}$  and  $2\,048 \text{ kbit.s}^{-1}$ ) are selected. Secondly, a practical comparison of the measured output signal on the noisy local loop with the output of the mathematical model is carried out. Based on the pre-known effects of interference of various electrical sources, critical frequency or noise levels are then determined from a comparison of the spectra waveforms and a potential source of interference is detected.

## KEYWORDS

Attenuation, Interference, Mathematical model, Subscriber extension line, Symmetric pair, Line parameters.

# OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....	1
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ .....	3
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	5
SEZNAM TABULEK .....	7
<b>1 Úvod.....</b>	<b>8</b>
<b>2 Analýza účastnického vedení.....</b>	<b>10</b>
2.1 Symetrické páry účastnického vedení .....	10
2.2 Charakteristika používaných technologií na účastnickém vedení .....	11
2.2.1 Parametry analogového připojení.....	11
2.2.2 Parametry impulsního připojení .....	11
<b>3 Cíle disertační práce.....</b>	<b>17</b>
<b>4 Rozbor vybraných typů rušení.....</b>	<b>18</b>
4.1 Elektrické rušivé vlivy na symetrická vedení.....	18
4.2 Mechanické rušivé vlivy na symetrická vedení.....	20
<b>5 Regresní matematický model pro identifikaci rušení na přenášené signály .....</b>	<b>23</b>
5.1 Obecný popis regresního matematického modelu.....	25
5.2 Popis regresního matematického modelu účastnického vedení .....	25
5.3 Stanovení parametrů a funkčních závislostí pro matematický model .....	26
5.3.1 Určení sekundárních parametrů vedení .....	26
5.3.2 Určení funkčních závislostí parametrů modelu.....	27
5.4 Regresní matematický model účastnického vedení.....	31
5.5 Porovnání regresního matematického modelu s modelem analytickým .....	31
<b>6 Stanovení vlivu rušení vybraných zdrojů .....</b>	<b>35</b>

6.1	Měření na nerušeném účastnickém vedení.....	36
6.1.1	Stanovení vlivu okolního prostředí .....	36
6.1.2	Měření při analogovém vstupním signálu .....	36
6.1.3	Měření při impulsním signálu s přenosovou rychlostí $64 \text{ kbit.s}^{-1}$ .....	39
6.1.4	Měření při impulsním signálu s přenosovou rychlostí $2\,048 \text{ kbit.s}^{-1}$ .....	42
6.2	Měření na rušeném účastnickém vedení .....	44
6.2.1	Určení charakteristických frekvencí mikrovlnné trouby .....	45
6.2.2	Určení charakteristických frekvencí elektrické příklepové vrtačky .....	48
6.2.3	Určení charakteristických frekvencí elektrického ručního mixeru.....	51
6.2.4	Určení charakteristických frekvencí vysoušeče vlasů.....	53
6.2.5	Určení charakteristických frekvencí obvodu s relé napájeným 15 V .....	56
6.2.6	Určení charakteristických frekvencí obvodu s relé napájeným 230 V .....	59
6.3	Identifikace rušících zdrojů .....	61
<b>7</b>	<b>Ověření vhodnosti matematického modelu a výsledky disertační práce.....</b>	<b>64</b>
<b>8</b>	<b>Splnění cílů a přínos práce .....</b>	<b>67</b>
<b>9</b>	<b>Závěry pro praxi a další rozvoj oboru.....</b>	<b>69</b>
<b>10</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>70</b>
	POUŽITÁ LITERATURA .....	71
	PŘEHLED PUBLIKAČNÍ A PROJEKTOVÉ ČINNOSTI.....	75
	SEZNAM PŘÍLOH.....	78

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK**

<b>ZKRATKA</b>	<b>ANGLICKÝ VÝZNAM</b>	<b>ČESKÝ VÝZNAM</b>
ACR	Attenuation Crosstalk Ratio	Odstup signálu od přeslechu
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line	Digitální účastnická přípojka s asymetrickým provozem
ADSL-R	ADSL Terminal Unit Remote	ADSL vzdálená terminálová jednotka
ADSL-C	ADSL Terminal Unit Central Office	ADSL centrální terminálová jednotka
CAP	Carrierless Amplitude/Phase modulation	Amplitudově fázová modulace bez nosné
CATV	Cable TV	Kabelové televize
DLC	Digital Loop Carrier	Digitální účastnické systémy
DLL	Digital Local Line	Digitální místní přípojka
DMT	Discrete Multitone modulation	Diskrétní, mnohotónová modulace
DSL	Digital Subscriber Line	Digitální účastnická přípojka
E1	Europe 1	Digitální toky evropské hierarchie řádu 1
ETSI	European Telecommunication Standards Institute	Evropský telekomunikační úřad pro standardizaci
FEXT	Far-End Crosstalk	Přeslech na vzdáleném konci
HDSL	High bit rate Digital Subscriber Line	Digitální účastnická přípojka s vysokou přenosovou rychlostí
HDTV	High Definition Television	Televize s vysokým rozlišením
HFC	Hybrid Fiber Coax	Kombinovaná síť s optickými vlákny a koaxiálními páry
IP	Internet Protocol	Internetový protokol
IDN	Integrated Digital Network	Integrovaná digitální síť
ISDN	Integrated Services Digital Network	Digitální síť integrovaných služeb
ITU-T	International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector	Mezinárodní telekomunikační unie pro telekomunikační standardizaci
LAN	Local Area Network	Lokální síť
LDTV	Low Definition Television	Televize s nízkým rozlišením
LTU	Line Termination Unit	Jednotka linkového zakončení
MPEG	Motion Picture Experts Group	Standard pro kompresi pohyblivého obrazu (video)
NEXT	Near-End Crosstalk	Přeslech na blízkém konci
NTU	Network Termination Unit	Jednotka zakončení sítě



ZKRATKA	ANGLICKÝ VÝZNAM	ČESKÝ VÝZNAM
PAM	Pulse Amplitude Modulation	Pulsně amplitudová modulace
PCM	Pulse Code Modulation	Pulsně kódová modulace
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	Kvadrurně amplitudová modulace
SDSL	Symmetric Digital Subscriber Line	Digitální účastnická přípojka se symetrickým provozem
SDTV	Standard Definition Television	Televize se standardním rozlišením
SHDSL	Single pair High speed Digital Subscriber Line	Digitální účastnická přípojka s vysokou přenosovou rychlostí po jednom páru
SRAEN	Système de référence pour la détermination du affaiblissement équivalent de netteté	Normál pro měření srozumitelnosti (z fran.)
VDSL	Very high speed Digital Subscriber Line	Digitální účastnická přípojka s velmi vysokou přenosovou rychlostí
VPN	Virtual Private Network	Virtuální privátní síť
xDSL	DSL technologies	Technologie DSL

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

SYMBOL	JEDNOTKA	VÝZNAM
$A$	Np nebo dB	Útlum vedení
$C$	F km <sup>-1</sup>	Kapacita vedení
$C_v$		Vektor amplitudy $v$ -té harmonické složky
$f$	Hz	Frekvence
$f_0$	Hz	Frekvence základní harmonické
$F_r(\omega)$		Frekvenční spektrum rušícího signálu
$F_{vst}(\omega)$		Frekvenční spektrum vstupního signálu
$F_{výst}(\omega)$		Frekvenční spektrum výstupního signálu
$F_{výstr}(\omega)$		Frekvenční spektrum výstupního signálu při rušeném vedení
$F_{zr}(\omega)$		Frekvenční spektrum zdroje rušení
$g_1(t)$		Časová funkce signálu na začátku vedení
$g_2(t)$		Časová funkce přeneseného signálu
$G$	S km <sup>-1</sup>	Svod vedení
$I_1$	A	Proud na začátku vedení
$I_2$	A	Proud na konci vedení
$I_x$	A	Proud vedení v místě $x$
$K$		Konstanta
$l$	km	Délka vedení
$L$	H km <sup>-1</sup>	Indukčnost vedení
$L_1$	dB	Úroveň vstupního signálu na začátku vedení
$L_{1g}$	dB	Úroveň signálu z generátoru
$L_2$	dB	Úroveň výstupního signálu na konci nerušeného vedení
$L_{2r}$	dB	Úroveň výstupního signálu na konci rušeného vedení
$P_1$	W	Vstupní výkon
$P_{1F}$	W	Výkon rušícího páru na vzdáleném konci
$P_{1N}$	W	Výkon rušícího páru na blízkém konci
$P_2$	W	Výstupní výkon
$P_{2F}$	W	Výkon rušeného páru na vzdáleném konci
$P_{2N}$	W	Výkon rušeného páru na blízkém konci
$r$	-	Koeficient odrazu
$R$	$\Omega$ km <sup>-1</sup>	Odpor vedení
$R^2$	-	Koeficient regrese

SYMBOL	JEDNOTKA	VÝZNAM
$t$	s	Čas
$T_0$	s	Doba periody základní harmonické
$U_1$	V	Napětí na začátku vedení
$U_2$	V	Napětí na konci vedení
$U_x$	V	Napětí na vedení v místě $x$
$x$	km	Označení místa, resp. Délky úseku vedení
$Z_0$	$\Omega$	Vlnová impedance
$Z_2$	$\Omega$	Impedance zátěže
$\alpha$	Np km <sup>-1</sup> nebo dB km <sup>-1</sup>	Měrný útlum vedení
$\beta$	rad km <sup>-1</sup>	Měrný fázový posuv
$\gamma$	km <sup>-1</sup>	Měrná míra přenosu
$\varphi_1(Z_2)$	-	Funkce popisující vliv zatěžovací impedance vedení
$\varphi_2(f)$	-	Funkce popisující vliv frekvence
$\omega$	rad s <sup>-1</sup>	Úhlová frekvence
$\omega_0$	rad s <sup>-1</sup>	Úhlová frekvence základní harmonické

## SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 4.1 - Přeslechy na blízkém (NEXT) a na vzdáleném konci (FEXT).....	19
OBR. 4.2 - Frekvenční závislost útlumu přeslechu NEXT .....	19
OBR. 4.3 - Vliv nezakončené odbočky na vedení .....	20
OBR. 4.4 - Schéma zapojení obvodu s relé 1 .....	22
OBR. 5.1 - Element homogenního vedení – náhradní schéma.....	23
OBR. 5.2 - Blokové schéma regresního matematického modelu.....	25
OBR. 5.3 - Frekvenční závislost absolutní hodnoty vlnové impedance.....	27
OBR. 5.4 - Frekvenční závislost reálné a imaginární složky vlnové impedance .....	27
OBR. 5.5 - Frekvenční závislost měrné míry přenosu .....	27
OBR. 5.6 - Frekvenční závislost útlumu vedení .....	27
OBR. 5.7 - Blokové schéma měření.....	27
OBR. 5.8 - Zapojení ADS 1 N-S.....	28
OBR. 5.9 - Zapojení ADS 2 S-N.....	29
OBR. 5.10 - Závislost útlumu na impedanci zátěže pro frekvenci 800 Hz .....	30
OBR. 5.11 - Závislost útlumu na frekvenci pro zátěž 1040 $\Omega$ .....	31
OBR. 5.12 - Modely závislosti útlumu na impedanci zátěže pro frekvenci 800 Hz .....	33
OBR. 5.13 - Modely závislosti útlumu na frekvenci pro zátěž 1040 $\Omega$ .....	33
OBR. 5.14 - Závislost útlumu na zátěži pro různé hodnoty frekvence .....	34
OBR. 5.15 - Závislost útlumu na frekvenci pro různé hodnoty zátěže .....	34
OBR. 6.1 - Blokové schéma měření s rušením okolního prostředí .....	36
OBR. 6.2 - Spektrum analogového signálu z generátoru .....	37
OBR. 6.3 - Spektrum analogového vstupního signálu .....	38
OBR. 6.4 - Spektrum analogového signálu na konci nerušeného vedení .....	38
OBR. 6.5 - Rozdíl vstupní a výstupní úrovně analogového signálu .....	39
OBR. 6.6 - Časový průběh ideálního periodického obdélníkového signálu .....	39
OBR. 6.7 - Spektrum impulsního signálu z generátoru, přenosová rychlost 64 kbit.s <sup>-1</sup> .....	40

OBR. 6.8 - Spektrum impulsního vstupního signálu, přenosová rychlost $64 \text{ kbit.s}^{-1}$ .....	40
OBR. 6.9 - Spektrum impulsního signálu na konci nerušeného vedení, přenosová rychlost $64 \text{ kbit.s}^{-1}$ .....	41
OBR. 6.10 - Rozdíl vstupní a výstupní úrovně při přenosové rychlosti signálu $64 \text{ kbit.s}^{-1}$ .....	41
OBR. 6.11 - Spektrum impulsního signálu z generátoru, přenosová rychlost $2\,048 \text{ kbit.s}^{-1}$ .....	42
OBR. 6.12 - Spektrum impulsního vstupního signálu, přenosová rychlost $2\,048 \text{ kbit.s}^{-1}$ .....	43
OBR. 6.13 - Spektrum impulsního signálu na konci nerušeného vedení, přenosová rychlost $2\,048 \text{ kbit.s}^{-1}$ .....	43
OBR. 6.14 - Rozdíl vstupní a výstupní úrovně při přenosové rychlosti signálu $2\,048 \text{ kbit.s}^{-1}$ .....	44
OBR. 6.15 - Spektrum výstupního analogového signálu rušeného mikrovlnnou troubou .....	46
OBR. 6.16 - Spektrum výstupního impulsního signálu o přenosové rychlosti $64 \text{ kbit.s}^{-1}$ rušeného mikrovlnnou troubou .....	47
OBR. 6.17 - Spektrum výstupního impulsního signálu o přenosové rychlosti $2\,048 \text{ kbit.s}^{-1}$ rušeného mikrovlnnou troubou .....	48
OBR. 6.18 - Spektrum výstupního analogového signálu rušeného elektrickou příklepovou vrtačkou ..	49
OBR. 6.19 - Spektrum výstupního impulsního signálu o přenosové rychlosti $64 \text{ kbit.s}^{-1}$ rušeného elektrickou příklepovou vrtačkou .....	49
OBR. 6.20 - Spektrum výstupního impulsního signálu o přenosové rychlosti $2\,048 \text{ kbit.s}^{-1}$ rušeného elektrickou příklepovou vrtačkou .....	50
OBR. 6.21 - Spektrum výstupního analogového signálu rušeného ručním mixerem .....	51
OBR. 6.22 - Spektrum výstupního impulsního signálu o přenosové rychlosti $64 \text{ kbit.s}^{-1}$ rušeného ručním mixerem .....	52
OBR. 6.23 - Spektrum výstupního impulsního signálu o přenosové rychlosti $2\,048 \text{ kbit.s}^{-1}$ rušeného ručním mixerem .....	53
OBR. 6.24 - Spektrum výstupního analogového signálu rušeného vysoušečem vlasů .....	54
OBR. 6.25 - Spektrum výstupního impulsního signálu o přenosové rychlosti $64 \text{ kbit.s}^{-1}$ rušeného vysoušečem vlasů .....	55
OBR. 6.26 - Spektrum výstupního impulsního signálu o přenosové rychlosti $2\,048 \text{ kbit.s}^{-1}$ rušeného vysoušečem vlasů .....	55
OBR. 6.27 - Spektrum výstupního analogového signálu rušeného obvodem s relé napájeným $15 \text{ V}$ ...	57

OBR. 6.28 - Spektrum výstupního impulsního signálu o přenosové rychlosti $64 \text{ kbit.s}^{-1}$ rušeného obvodem s relé napájeným 15 V .....	57
OBR. 6.29 - Spektrum výstupního impulsního signálu o přenosové rychlosti $2\,048 \text{ kbit.s}^{-1}$ rušeného obvodem s relé napájeným 15 V .....	58
OBR. 6.30 - Spektrum výstupního analogového signálu rušeného obvodem s relé napájeným 230 V ..	59
OBR. 6.31 - Spektrum výstupního impulsního signálu o přenosové rychlosti $64 \text{ kbit.s}^{-1}$ rušeného obvodem s relé napájeným 230 V .....	60
OBR. 6.32 - Spektrum výstupního impulsního signálu o přenosové rychlosti $2\,048 \text{ kbit.s}^{-1}$ rušeného obvodem s relé napájeným 230 V .....	61
OBR. 7.1 – Spektrum rušeného výstupního analogového signálu .....	65
OBR. 7.2 - Spektrum nerušeného výstupního analogového signálu .....	66

## SEZNAM TABULEK

TAB. 2.1 - Přehled základních systémů xDSL .....	13
TAB. 6.1 - Porovnání zdrojů rušení .....	63

# 1 Úvod

Telekomunikační sítě se obecně rozdělují na tři základní části - transportní síť, spojovací síť a přístupová síť. Transportní a spojovací síť tvoří tzv. páteřní síť. Transportní síť zabezpečuje dálkový přenos mezi uzly spojovací sítě (ústřednami). Spojovací síť zabezpečuje propojování mezi koncovými body transportní sítě a je tvořena ústřednami. Přístupová síť zabezpečuje přístup zákazníků ke službám. Přístupová síť je univerzální a pro přenos signálů využívá několik druhů přenosových médií - metalické, optické nebo rádiové.

V současnosti se v oblasti přístupových sítí nejvíce rozšiřuje především širokopásmový přístup k internetu a další služby jako např. televize a video. Existuje několik možností zabezpečení širokopásmového přístupu k internetu a existuje i několik poskytovatelů nebo provozovatelů těchto služeb. Možnosti technického řešení přístupových sítí vycházejí z různých typů infrastruktury, kterou může být existující metalické telefonní vedení, kabelová síť, rádiová síť, satelitní síť, optická síť nebo elektrická rozvodná síť.

Disertační práce se zabývá rušením v přístupových sítích a řeší problematiku existujících metalických telefonních přístupových vedení umožňujících poskytovat širokopásmové služby. Experimentální část vychází z realizovaných měření přímo na účastnickém vedení, tj. vedením mezi místní telefonní ústřednou a účastníkem.

Obecně je širokopásmový přístup zabezpečován digitálními komunikačními technologiemi s kapacitou pro přenos velkého objemu dat vysokou rychlostí podporující několik digitálních služeb současně.

Při vývoji širokopásmových sítí byly přístupové technologie, podporující aplikace náročné na šířku pásma řádově v  $\text{Mbit.s}^{-1}$ , rozděleny na dva základní typy - symetrické a asymetrické z pohledu objemu přenesených dat ve směru k uživateli (downstream) a ve směru od uživatele (upstream).

Existující metalické telefonní vedení se v současnosti modernizují na digitální účastnické přípojky DSL (Digital Subscriber Line). Protože se digitální přípojka realizuje různými způsoby, používá se pro ně označení xDSL (DSL technologies), kde x znamená typ přístupu z hlediska symetričnosti a šířky pásma. Technologie se liší modulacemi, přenosovými rychlostmi a vzdálenostmi účastníka od ústředny operátora.

Vzhledem k tomu, že pro přenos signálů je využíváno metalické vedení, vystupuje do popředí problematika externího rušení přenášených signálů. Tato skutečnost má negativní vliv na kvalitu přenosu a identifikace zdroje rušení je vzhledem k nepravidelnosti značně komplikovaná. Disertační

práce je orientována právě do této oblasti a její význam spočívá v exaktním způsobu vyhledání zdroje rušení. Řešení tohoto úkolu vyšlo z podnětu pracovníků přední telekomunikační firmy českého trhu.



## 2 Analýza účastnického vedení

Převážná část uživatelů je dosud připojena alespoň v posledním úseku od rozvaděče (např. domovního) metalickým vedením. Podle typu vedení se nejčastěji používají symetrické páry, které používají telekomunikační společnosti pro zprostředkování telefonních i dalších služeb, a méně často koaxiální páry, pomocí nichž provozovatelé kabelové televize vedle distribuce televizního signálu nabízejí i další služby, (VODRÁŽKA, 2000).

Konstrukce metalického vedení má rozhodující význam na uplatnění se rušících signálů. Nejnáchylnější jsou symetrické páry a z tohoto důvodu je práce zaměřena na tento typ účastnického vedení.

### 2.1 Symetrické páry účastnického vedení

Metalické přenosové cesty představují uspořádané soustavy vodičů, přizpůsobené pro efektivní šíření elektromagnetické vlny. Tuto cestu je možné považovat za homogenní vedení s rovnoměrně rozloženými elektrickými parametry. Homogenní znamená, že ve všech částech má vedení stejné elektrické vlastnosti. Z hlediska symetrie metalického vedení jsou možné dva druhy vedení:

- symetrické vedení - dva signálové vodiče se stejnými parametry proti zemi (symetrický pár),
- nesymetrické vedení - jeden signálový vodič a společný uzemňovací vodič (koaxiální kabel).

Symetrický kabel charakterizují dva parametry - průměr měděného vodiče a perioda zkrutu. Čím je větší průměr vodiče, tím je větší dosah a šířka pásma dané linky. Čím je menší perioda zkrutu, tím více se zvyšuje odolnost páru vůči elektromagnetickému rušení.

Symetrický pár tvoří dvě žíly stočené s určitou délkou zkrutu. Křížová čtyřka, označovaná X, je tvořena čtyřmi žíly stočenými se stejnou délkou zkrutu; pro přenos elektromagnetické vlny se používá dvojice protilehlých žil.

Telekomunikační kabely v přístupových sítích byly původně určeny pro přenos hovorových signálů jako analogové telefonní přípojky. V dnešní době se využívají i pro širokopásmové přenosy a provozují se na nich xDSL přípojky. Nejčastěji jsou tyto přípojky tvořeny křížovými čtyřkami stočenými do vrstev nebo skupin, (ŠIMÁK, a další, 2005).

Vzhledem k tomu, že nejrozšířenější typy kabelů pro účastnické přípojky jsou právě tyto symetrické páry, jsou dále uvažovány pouze tyto typy kabelů.

## 2.2 Charakteristika používaných technologií na účastnickém vedení

V současné době jsou na účastnickém vedení používány dva základní způsoby přenosu signálů. Stále je nejrozšířenějším způsobem přenos signálu v analogové formě, kdy je signál přenášen v základním pásmu.

Druhým způsobem je přenos signálu v impulsním tvaru. Používané jsou dva systémy, a to pomocí připojení ISDN (Integrated Services Digital Network) a xDSL.

### 2.2.1 Parametry analogového připojení

Telefonní služba je historicky nejstarší telekomunikační služba, která dosáhla masového rozšíření, a spočívá v přenosu hlasové informace na libovolnou vzdálenost. Podle doporučení mezinárodní telekomunikační unie pro telekomunikační standardizaci ITU-T (International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector) je k dispozici omezená šířka frekvenčního pásma 300 – 3 400 Hz, tzv. telefonní kanál. Frekvenční pásmo bylo stanoveno na základě měření slabikové srozumitelnosti. Při uvedeném frekvenčním pásmu je dosaženo 80 % slabikové srozumitelnosti a tato hodnota postačuje k zajištění 99,7 % včetně srozumitelnosti. Frekvenční omezení přenášeného pásma hlasu se realizuje buď přímo v použitém koncovém zařízení, anebo u starších koncových zařízení v přenosovém koncovém zařízení.

Přestože je analogový přenos signálu nejnáchylnější na vliv rušení, je tento způsob přenosu stále nejrozšířenější. Uvedený způsob přenosu hovoru je technicky nejjednodušší, protože se uskutečňuje v základním pásmu. Kvalitativní parametry jsou měřeny a udávány pro frekvenci 800 Hz (např. vztažný útlum, útlumové zkreslení, atd.).

### 2.2.2 Parametry impulsního připojení

Účastnické připojení na symetrických párech v současnosti běžně slouží kromě přenosu hlasu v analogové formě k realizaci základních přípojek ISDN, případně k připojení digitálních účastnických systémů DLC (Digital Loop Carrier) pro vícenásobné využití místních vedení (2, 4, 8, 10, 30 telefonních účastníků po jednom páru). Využitelnost vedení však klesá zejména vlivem rostoucího útlumu ve vyšších oblastech spektra, tedy pro vyšší přenosové rychlosti. Ve zvýšené míře se projevují přeslechy a nehomogenity vedení. K odstranění uvedených nevýhod byly vyvinuty speciální přenosové technologie a příslušné datové měniče. Označují se souhrnně zkratkou xDSL. Řešení přístupu k multimediálním sítím pomocí telefonních modemů je snadno realizovatelné a levné, protože využívá vedle metalického vedení i existujících telefonních a ISDN ústředen, avšak omezujícím faktorem je šířka frekvenčního pásma 300 až 3400 Hz. (VODRÁŽKA, 2000).

Účastnické připojení koaxiálním kabelem umožnilo firmám, provozujících především v městských aglomeracích značně rozšířené sítě kabelové televize, proniknout na telekomunikační trh s poskytováním dalších služeb, např. hovorových, přenos multimediálních dat atd. Pro využívání nabízených služeb musí mít každý účastník realizovanou individuální přípojku koaxiálním kabelem z centrálního distribučního místa (pro danou budovu, skupinu budov) a musí být zajištěn obousměrný přenos kmitočtovým dělením pásma. Distribuční místa CATV (Cable TV) je perspektivní propojovat optickým vláknem a společně tvoří hybridní přístupové sítě HFC (Hybrid Fiber Coax). Jedná se o sítě, které kombinují koaxiální kabely s optickými vlákny, (VODRÁŽKA, 2000).

### **Digitální sítě integrovaných služeb**

Nutným předpokladem pro vybudování ISDN je, aby byla vybudována integrovaná digitální síť IDN (Integrated Digital Network). V této síti se využívá pro přenos a spojování v ústřednách PCM (Pulse Code Modulation) signál. Typickou vlastností IDN je to, že všechny ústředny, stejně jako použité přenosové systémy mezi ústřednami, pracují s digitálním signálem. Koncové zařízení je analogové a přenášený signál přes přípojně vedení je analogový, resp. digitální s tím, že přes jedno dvouvodičové přípojně vedení může být realizováno současně pouze jedno spojení.

V ISDN dochází v porovnání s IDN k zásadní změně na přípojném vedení v tom smyslu, že přenos po tomto vedení je výlučně digitální, koncové zařízení typu ISDN je rovněž digitální a podstatné je, že po jednom původním, např. měděném přípojném vedení, je možné současně realizovat dvě nezávislá spojení. Účastnická signalizace je přenášena po samostatném signalizačním logickém kanálu.

Vlastností ISDN je, že nabízí uživateli integrované služby, to znamená, že jedna a ta samá telekomunikační síť je schopna přenášet různé typy signálů, např. hovorový signál, datový signál, obrazový signál apod. Hovorové kanály jsou realizovány jako digitální, s přenosovou rychlostí  $64 \text{ kbit.s}^{-1}$ , signalizační kanál má přenosovou rychlost  $16 \text{ kbit.s}^{-1}$ , resp.  $64 \text{ kbit.s}^{-1}$ , (BLUNÁR, 2003).

U základního přístupu se používají přenosové rychlosti  $16 \text{ kbit.s}^{-1}$ ,  $64 \text{ kbit.s}^{-1}$  a v případě současného využití všech kanálů je to přenosová rychlost  $144 \text{ kbit.s}^{-1}$ . Uvedeným přenosovým rychlostem potom odpovídají doby trvání impulsů  $62,5 \mu\text{s}$ ,  $15,6 \mu\text{s}$  nebo  $6,9 \mu\text{s}$ .

U primárního přístupu se využívá přenosová rychlost  $2\,048 \text{ kbit.s}^{-1}$ , čemuž odpovídá doba trvání impulsu  $488 \text{ ns}$ .

### **Způsoby širokopásmového připojení**

Zavádění nových služeb, především širokopásmových, klade stále vyšší požadavky na šířku přenášeného pásma. Postupně se proto vyvíjejí systémy pro využití symetrického páru při vyšších

kmítočtech, než pro které byly původně určeny. Často existují různé varianty téhož systému od různých výrobců. Jednotlivé typy digitálních účastnických přípojek DSL se liší v používaném frekvenčním pásmu, maximální rychlosti a dosahu. Přehled základních systémů xDSL uvádí TAB. 2.1., (PUŽMANOVÁ, 2004).

**TAB. 2.1 - Přehled základních systémů xDSL**

OZNAČENÍ	FREKVENČNÍ PÁSMO	RYCHLOST SESTUPNĚ (DOWNSTREAM)	RYCHLOST VZESTUPNĚ (UPSTREAM)	DOSAŽ	POČET PÁRŮ
IDSL	0 až 50	128 kbit.s <sup>-1</sup>	128 kbit.s <sup>-1</sup>	6 km	JEDEN
HDSL	0-392 kHz (2B1Q) 10-175 kHz (CAP)	2 048 kbit.s <sup>-1</sup>	2 048. kbit.s <sup>-1</sup>	3 km	DVA
SHDSL	0 až 385	až 2 312 kbit.s <sup>-1</sup> JEDEN PÁR	až 2 312 kbit.s <sup>-1</sup> JEDEN PÁR	3 až 6 km	JEDEN/DVA
ADSL Lite	138-552 kHz DOWN 25-138 kHz UP	do 1,5 Mbit.s <sup>-1</sup>	do 0,6Mbit.s <sup>-1</sup>	7 km	JEDEN
ADSL	138-1104 kHz DOWN 25-138 kHz UP	až 8 Mbit.s <sup>-1</sup>	až 1 Mbit.s <sup>-1</sup>	8 km	JEDEN
VDSL asym.	až 30 MHz	až 52 Mbit.s <sup>-1</sup>	až 6,4 Mbit.s <sup>-1</sup>	0,3 až 1,5 km	JEDEN
VDSL sym.		až 26 Mbit.s <sup>-1</sup>	až 26 Mbit.s <sup>-1</sup>		
VDSL 2		až 100 Mbit.s <sup>-1</sup>	až 100 Mbit.s <sup>-1</sup>		

Překlenutelné vzdálenosti jsou závislé na použitých párech a liší se i u zařízení různých výrobců. Dosahovaná rychlost přenosu signálů s rostoucí vzdáleností klesá, roste s počtem použitých párů a s dokonalostí technologie.

Nejčastěji využívaný typ digitální účastnické přípojky je digitální účastnická přípojka s asymetrickým provozem ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line). ADSL je nabízena buď v kombinaci s analogovou přípojkou, nebo se základní přípojkou ISDN. V případě ISDN přípojky je začátek pásem ADSL na 138 kHz. ADSL se vyznačuje dynamickým přizpůsobováním přenosové rychlosti

vlastnostem vedení. ADSL Lite je zjednodušená varianta ADSL, která neumožňuje současný provoz analogové telefonní přípojky, ale počítá se v případě potřeby s IP (Internet Protocol) telefoníí prostřednictvím Internetu.

Z hlediska přenosu videopořadů vyhovují digitální účastnická přípojka s vysokou přenosovou rychlostí HDSL (High bit rate Digital Subscriber Line) a digitální účastnická přípojka se symetrickým provozem SDSL (Symmetric Digital Subscriber Line) pro televizi s nízkým rozlišením LDTV (Low Definition Television), ovšem pro distribuční služby je zbytečný zpětný kanál se stejnou přenosovou rychlostí. Naopak systémy ADSL počítají s nesymetrickou povahou provozu a pro tyto aplikace jsou přímo vyvinuty. Přenosová kapacita postačí i pro televizi se standardním rozlišením SDTV (Standard Definition Television) s videopořady se standardem pro kompresi pohyblivého obrazu MPEG-2 (Motion Picture Experts Group). Systém VDSL umožní zvolit symetrickou i nesymetrickou variantu a poskytuje dostatečnou přenosovou kapacitu i pro televizi s vysokým rozlišením HDTV (High Definition Television), (VODRÁŽKA, 2000).

### **Technologie HDSL**

Systém HDSL je standardizován v doporučení G.991.1 (ITU-T, 10/1998) a pro evropskou oblast v doporučení ETR 152 (ETSI, 1996). Při vývoji systému HDSL byly aplikovány zkušenosti s digitálním přenosem po vedeních základních přípojek ISDN, ale základním cílem bylo dosažení vyšších přenosových rychlostí, a to v násobcích  $64 \text{ kbit.s}^{-1}$  až do  $2048 \text{ kbit.s}^{-1}$ . Nejčastěji se nabízejí systémy právě s horní mezí rychlosti, odpovídající signálu PCM30/32 (E1 - Europe1). Jsou určeny zejména pro přenos vysokými rychlostmi na symetrických párech, připojení pobočkové ústředny, podnikové sítě, vzdálený přístup a propojení lokálních sítí LAN (Local Area Network), propojení základnových stanic mobilních systémů a pro přístup k multimediálním službám.

Přenos probíhá po dvou nebo třech párech místní rozvodné sítě telefonních kabelů DLL (Digital Local Line), na které se rozdělí potřebný datový tok. Uspořádání odpovídá přenosu mezi dvěma koncovými body, kde se odlišuje jednotka na straně uživatele LTU (Line Termination Unit) a na straně provozovatele NTU (Network Termination Unit), (VODRÁŽKA, 2000).

### **Technologie SHDSL**

Digitální účastnická přípojka s vysokou přenosovou rychlostí po jednom páru symetrického vedení SHDSL (Single pair High speed Digital Subscriber Line) je následníkem systému HDSL. Přenosové rychlosti na účastnickém rozhraní jsou od  $192 \text{ kbit.s}^{-1}$  do  $2312 \text{ kbit.s}^{-1}$ . V případě požadavku na vyšší přenosové rychlosti nebo v případě požadavku na překlenutí větší vzdálenosti je standardizována i dvoupárová varianta SHDSL. Pro přenos se používá šestnáctistavová pulsně amplitudová modulace

s Trellis kódováním (16-TCPAM). Samotný návrh SHDSL transceiveru podle doporučení G.991.2 (ITU-T, 12/2003) je proveden s ohledem na spektrální kompatibilitu s dalšími technologiemi, které jsou využívány v přístupových sítích (zejména ADSL, ISDN). SHDSL není možné na rozdíl od ADSL provozovat na společném páru s analogovou telefonní přípojkou ani s přípojkou ISDN, (JAREŠ, 2004).

Původní návrh systému SHDSL z roku 2001 počítal s využitím maximálně dvou symetrických párů vedení pro přenos uživatelské informace. Přenosový systém dokázal za určitých podmínek přenášet uživatelská data rychlostí až  $2 \times 2312 \text{ kbits}^{-1}$ . Inovace u druhé generace SHDSL.bis spočívá v podpoře až pro 4 symetrické páry, které lze využít pro souběžný přenos uživatelských dat.

SHDSL je především určena pro domácí nebo malé firmy, které požadují symetrické přenosové rychlosti k poskytovateli připojení, protože mají větší nároky na rychlost odesílaných dat, (JAREŠ, 2007).

### Technologie ADSL

Požadavkům na rychlejší přenos vyhovují systémy ADSL. Jejich standardizační proces vyústil v doporučení G.992.1 (ITU-T, 06/1999 a), tzv. ADSL Full, a v doporučení G.992.2 (ITU-T, 06/1999 b), tzv. ADSL Lite. Při vývoji tohoto systému byly zkoušeny různé metody digitálního přenosu po metalických vedeních v přeloženém frekvenčním pásmu. Snahou bylo vytvořit dostatečně pružný a přizpůsobivý systém. Technologie ADSL je určena zejména pro připojení na Internet, distribuci digitálního televizního signálu, zprostředkování videa na přání, vzdálený přístup k LAN, přístup k dalším multimediálním službám a pro souběžný analogový telefonní provoz.

Přenos probíhá po jednom páru telefonních kabelů místní rozvodné sítě. Uspořádání odpovídá přenosu mezi dvěma koncovými zařízeními, kde se odlišuje vzdálená jednotka na straně uživatele ADSL-R (ADSL Terminal Unit Remote) a na straně provozovatele centrální jednotka ADSL-C (ADSL Terminal Unit Central Office). Z povahy zprostředkovaných služeb plyne asymetrie přenosu - rozdílné přenosové rychlosti od poskytovatele k uživateli a od účastníka k poskytovateli. Po jediném páru se vysílá digitální signál v přeloženém pásmu od 26 kHz do 1,1 MHz, přičemž jednotlivým směrům je přiděleno vlastní frekvenční pásmo - od účastníka k poskytovateli pásmo 26 až 138 kHz a od poskytovatele k účastníkovi pásmo 138 až 1104 kHz. Datový tok je rozdělen do subpásem s šířkou 4,3125 kHz, kde v každém pásmu se přenáší subkanál s přenosovou rychlostí  $32 \text{ kbit.s}^{-1}$ . Používá se diskretní mnohotónová modulace DMT (Discrete Multitone modulation). V každém pásmu se dílčí datový tok moduluje pomocí kvadrurní amplitudové modulace QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Podle požadované přenosové rychlosti jsou skupiny subpásem přiřazeny pro přenosové směry od účastníka k poskytovateli a od poskytovatele k účastníkovi. K oddělení přenosových směrů

se užívá buď frekvenční dělení (FDM) nebo oddělení vidlicí s digitálním potlačením ozvěny (EC), (VODRÁŽKA, 2000), (VODRÁŽKA, 2004 a).

### Technologie VDSL

Pro nejrychlejší přenos dat jsou určeny systémy VDSL. Digitální účastnické přípojky s velmi vysokou přenosovou rychlostí pracují se symetrickými i nesymetrickými rychlostmi až do desítek Mbit.s<sup>-1</sup> a využívají kmitočtové pásmo až do 12 MHz. Přenosová rychlost však není pevně dána, protože závisí na mnoha dalších faktorech (např. na útlumu). Přípojky jsou standardizovány v doporučení G.993.1, (ITU-T, 06/2004). První standardizace připouštěla dvě vzájemně nekompatibilní metody modulace – amplitudově fázovou modulaci CAP (Amplitude/Phase modulation) a diskretní mnohotónovou modulaci DMT (RAUSCHMAYER, 1999); specifiky pro evropskou oblast jsou popsány v dokumentech ETSI TS 101 270-1 (ETSI, 1999-10) a ETSI TS 101 270-2 (ETSI, 2003-07).

Druhá generace VDSL2 standardizovaná v doporučení G.993.2 (ITU-T, 12/2011) využívá šířky pásma až do 30 MHz, což zajišťuje přenosovou rychlost až 100 Mbit.s<sup>-1</sup> současně v obou směrech. Maximální přenosová rychlost je však dosažitelná při délce vedení maximálně do 300 metrů. S delším vedením nebo jeho nižší kvalitou se přenosová rychlost snižuje. Standardizace specifikuje pro VDSL 2 pouze DMT modulaci, (Wikipedia, 2012).

Z hlediska použití je symetrie přenosových rychlostí vhodná pro vzdálený přístup pomocí virtuální privátní sítě VPN, nahrávání účastnických souborů na servery apod. Asymetrie přenosových rychlostí vyhovuje pro služby jako je IPTV a video na přání. Je též vhodná pro provozovatele sítí z marketingového hlediska, protože při asymetrii je jedna z rychlostí obvykle podstatně vyšší, než každá z rychlostí symetrické přípojky, (VODRÁŽKA, 2011).

Přípojky VDSL, a to zvláště VDSL2, nabízejí dnes poskytovatelé internetu po celé Evropě. Telefónica O2 v ČR spustila VDSL 9. května 2011.

Na základě provedené analýzy bude jako užitečný signál uvažován signál analogový a dva druhy signálu impulzního lišící se přenosovou rychlostí. Jako základní bude uvažována přenosová rychlost užitečného signálu 64 kbit.s<sup>-1</sup> a jako druhá přenosová rychlost signálu 2 048 kbit.s<sup>-1</sup>.

### 3 Cíle disertační práce

Při obhajobě referátu k doktorské zkoušce s názvem *Analýza kvality přenosu signálů na účastnickém vedení*, (PETŘÍKOVÁ, 2009), byly komisí stanoveny následující cíle pro zpracování disertační práce:

- Provést rozbor vybraných typů rušení na přenášené signály.
- Vytvořit regresní matematický model pro identifikaci rušení na přenášené signály.
- Stanovit parametry matematického modelu.
- Ověřit vhodnost vytvořeného matematického modelu.



## 4 Rozbor vybraných typů rušení

Každý elektrotechnický systém můžeme pokládat zároveň za zdroj i za přijímač elektromagnetického rušení. Klasifikaci rušení i jejich zdrojů lze uskutečnit podle mnoha různých hledisek, např. přírodní a umělé (technické), funkční a nefunkční (parazitní), impulsní a spojitě, úzkopásmové a širokopásmové, nízkofrekvenční a vysokofrekvenční, (SVAČINA, 2000).

Podle jiné literatury se rušivé vlivy rozdělují do dvou základních skupin, a to na vnější a vnitřní rušivé vlivy. Vnější vlivy zahrnují impulsní a vysokofrekvenční rušení, vnitřní zahrnují přeslechy na blízkém a vzdáleném konci a bílý šum, (GREGOŘICA, 2005)

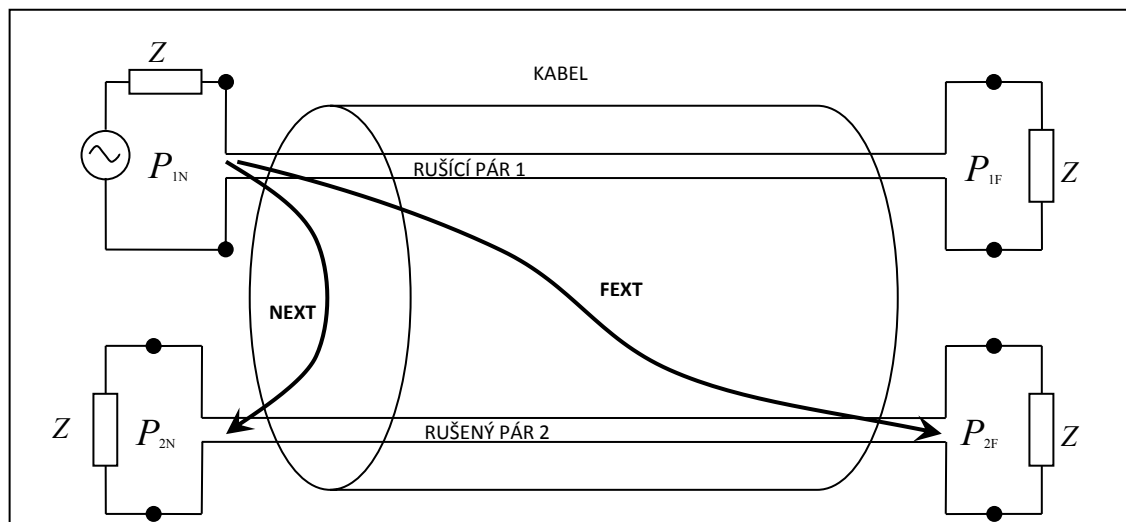
### 4.1 Elektrické rušivé vlivy na symetrická vedení

Činnost digitálních přenosových systémů provozovaných na účastnickém vedení se obecně váže k širokopásmovým přenosům. Pro hodnocení chybovosti přenosu je vhodné vycházet z rušení venkovními zdroji a vnitřními zdroji. V praxi existuje celá řada různých venkovních zdrojů rušení, mohou to být např. rádiové interference, tepelný šum, impulzový šum apod. Mezi vnitřní systémové rušení patří tzv. bílý šum. Nejzávažnějším zdrojem rušení však jsou jiné různé přenosové systémy provozované ve stejném kabelu, resp. na sousedních párech. Jedná se o různé systémy xDSL nebo digitální přenosové systémy se starší technologií kódování. Tyto zdroje rušení se nazývají přeslechy a jsou způsobeny fyzickou blízkostí kroucených párů. Každý pár je prakticky rušen různou mírou všemi sousedními páry. Míra vzájemného ovlivňování roste se zvyšující se frekvencí a nejvýznamnější je mezi sousedními páry v párové čtyřce kabelu. Podle toho, na kterém místě linky se přeslechy projevují, viz OBR. 4.1, se rozlišují dva druhy přeslechů:

- přeslech na blízkém konci NEXT (Near-End Crosstalk) - vzniká přenosem signálu z vysílače na vstup přijímače, zapojeného na stejném konci kabelu sousedního páru, přes kapacitní a induktivní vazby;
- přeslech na vzdáleném konci FEXT (Far-End Crosstalk) - vzniká tak, že signály z vysílačů jiných párů, v tom samém více párovém kabelu, pronikají na vstup přijímače zapojeného na opačném konci kabelu.

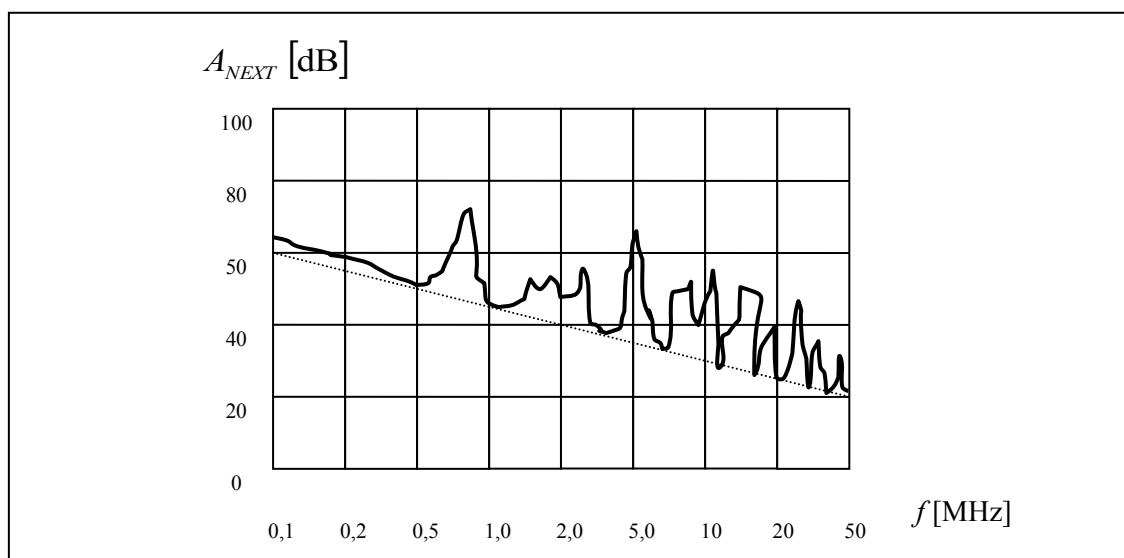
Všechny uvedené zdroje rušení a zvláště přeslechy omezují informační propustnost, protože snižují odstup signálu od šumu. U všech digitálních přenosových systémů se vyžaduje odolnost vůči vysokofrekvenčnímu rušení, což je i předepsáno normami EMC (Elektromagnetická kompatibilita). Projevy obou druhů přeslechů se vyjadřují termínem útlum přeslechu, nebo odstupem signálu od přeslechu, (VODRÁŽKA, 2004 b), (ŠIMÁK, a další, 2005).

Útlum přeslechu na blízkém konci se udává v decibelech a lze jej vypočítat z poměru výkonů na blízkém konci  $P_{1N}$  a  $P_{2N}$  podle OBR. 4.1. Útlum přeslechu výrazně závisí na frekvenci a na vzájemné poloze ovlivňujících se párů v kabelu.



OBR. 4.1 - Přeslechy na blízkém (NEXT) a na vzdáleném konci (FEXT)

Mezi vzdálenějšími páry v kabelu jsou přeslechové vazby menší, tzn. útlum přeslechu je větší. Na OBR. 4.2 je uvedena frekvenční závislost útlumu přeslechu typu NEXT na sousedním páru. Je zřejmé, že útlum přeslechu je menší při vyšších frekvencích, resp. přeslechové vazby jsou větší. Z obrázku je také vidět, že přeslechové rušení se při vyšších frekvencích projevuje intenzivněji než při nižších, (MARCHEVSKÝ, a další, 2009).



OBR. 4.2 - Frekvenční závislost útlumu přeslechu NEXT

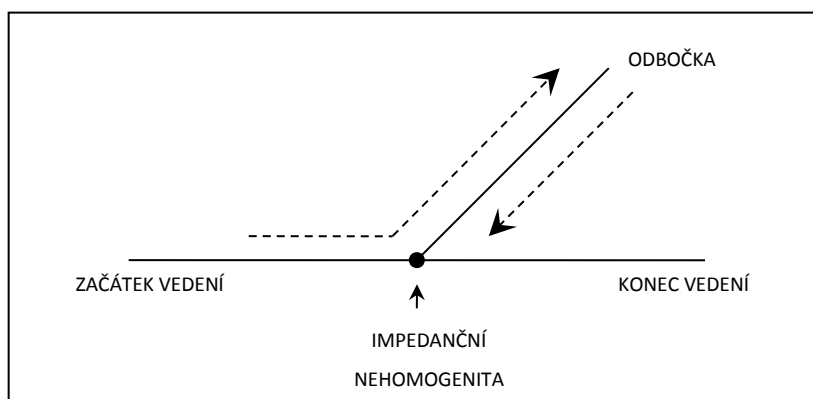
Přeslech na blízkém konci prakticky nezávisí na délce vedení. Různé typy telekomunikačních kabelů mají rozdílné typické přeslechové vazby.

Útlum přeslechu na vzdáleném konci se udává v decibelech a lze jej vypočítat z poměru vstupního výkonu rušícího páru na blízkém konci  $P_{IN}$  a výstupního výkonu rušeného páru na vzdáleném konci kabelu  $P_{2F}$  podle OBR. 4.1. Přeslech na vzdáleném konci podstatně závisí na délce vedení. Útlum přeslechu na vzdáleném konci se zvyšuje s rostoucím útlumem vedení.

K posouzení vlivu přeslechu na přenos signálu je rozhodující odstup signálu od přeslechu, označovaný  $A_{S/NEXT}$  nebo  $A_{S/FEXT}$ , který je pro stejné systémy zapojené na rušeném i rušícím páru dán útlumem přeslechu zmenšeným o útlum úseku vedení o délce  $l$ . Odstup signálu od přeslechu se někdy označuje jako ACR (Attenuation Crosstalk Ratio), (VODRÁŽKA, 2004 b), (ŠIMÁK, a další, 2005).

## 4.2 Mechanické rušivé vlivy na symetrická vedení

U metalických přístupových sítí a především u rozvodů v budovách se stává, že k některým symetrickým párům jsou paralelně připojeny jiné páry různé délky, které jsou rozpojeny (naprázdno) nebo nesprávně impedančně zakončeny. Často se vyskytuje i několik takovýchto odboček na jednom vedení. Nejčastějšími důvody vzniku odboček jsou např. opravy kabelů, chybná instalace, zřízení více telefonních zásuvek u účastníka, nebo systémy využívající telefonní rozvody k implementaci mnohobodových lokálních sítí. Odbočky byly instalovány i samotným operátorem kvůli flexibilitě budoucích spojení. Tyto odbočky neměly prakticky žádný zásadní vliv na klasickou telefonii. V případě širokopásmových přípojek a dalších širokopásmových služeb toto však neplatí. V místě připojení odbočky dochází k rozdělení šířícího se signálu od vysílače na dvě složky, jedna složka projde odbočkou, na jejím konci se celá odrazí a potom se v místě připojení odbočky odražený signál sčítá se signálem na účastnickém vedení. Prakticky se oba signály částečně potlačí, viz OBR. 4.3, (VODRÁŽKA, a další, 2008).



OBR. 4.3 - Vliv nezakončené odbočky na vedení

Praktický důsledek nezakončené odbočky na vedení je v tom, že se zvýší útlum vedení, což má za následek zúžení využitelného frekvenčního pásma, a tím snížení přenosové rychlosti přípojky. Odrazený signál způsobuje interference, které se mohou výrazněji projevovat při různých frekvencích, např. rezonanci nezakončených odboček.

Řešení disertační práce je zaměřeno na účastnické vedení, tj. vedení mezi místní telefonní ústřednou a vlastním účastníkem, resp. domácností. Z konstrukčního hlediska je i v současné době nejčastěji realizováno metalickým vedením nazývaným kroucený pár a z pohledu provozu se používá dvoudrátový provoz. Přenos signálů se potom u cca 70-ti% používá analogový. Z pohledu provozního zatížení se jedná o úsek málo využívaný a tedy o úsek, kterému při údržbě nevěnuje provozovatel velkou pozornost. Tato skutečnost není výjimečná a odpovídá tomu i rozdělení vztažného útlumu celého spojení, kde je podle doporučení ČTU na tento úsek počítáno na vysílací straně s hodnotou do 14 dB a na přijímací straně s hodnotou do 5 dB. Z pohledu kvality přenosu má tedy účastnické vedení rozhodující vliv na kvalitu celého spojení. Všechna uvedená negativa se nepříznivě projevují na kvalitě přenosu užitečného signálu.

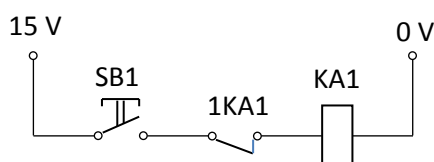
Obecně se pod pojem rušení zahrnuje vliv prostředí, ve kterém se účastník pohybuje, a rušení způsobené elektromagnetickým působením na přenosové médium. Obě tyto složky byly pro měření srozumitelnosti na normálu SRAEN definovány pro analogové systémy a při měření simulovány. Stanovené hodnoty představovaly běžný hluk v místnosti 60 dB a přímé elektrické rušení signálem o napětí rušícího signálu 2 mV. Oba rušící signály měly charakter bílého šumu, to znamená, že ve spektrální oblasti obsahovaly všechny frekvence se stejnou amplitudou, (Wikipedia, 2012).

Rozvojem elektrotechniky a vybavováním domácností různými moderními elektronickými zařízeními jako je mikrovlnná trouba, indukční vařiče, vysavače atd., je generována celá řada konkrétních rušících signálů, které působí na přenášený signál a mají proto vliv na kvalitu přenosu. Využívání uvedených spotřebičů je nepravidelné, a proto je rušící signál nutno brát jako náhodný. Protože základem domácích spotřebičů je většinou nějaký elektromotor s definovanými otáčkami, má rušící signál charakter periodický. Tento signál je charakteristický čárovým spektrem a pro jeho identifikaci je tedy zapotřebí pracovat se signály ve spektrální oblasti. Tato skutečnost dělá problematiku teoreticky náročnou a v podstatě pro běžnou praxi těžko použitelnou. V případě podstatného snížení kvality přenosu a hledání zdroje rušení je proto při hledání příčiny nejčastěji postupováno individuálně, mnohdy náhodně a velmi často intuitivně. V současné době není v praxi využívána žádná metoda, která by umožnila analyzovat signály na vedení a současně s určitou pravděpodobností by oddělovala od užitečného signálu signál rušící a následně identifikovala jeho možný zdroj.

Disertační práce je proto zaměřena do této oblasti a jejím cílem je exaktní stanovení vlivu rušení často se vyskytujících rušících zdrojů.

Jako zdroje rušení byly použity spotřebiče s elektrickými motorky, širokopásmový zdroj rušení a různé spínané zdroje, konkrétně:

- širokopásmový zdroj rušení - mikrovlnná trouba;
- spotřebiče s elektrickými motorky - elektrická příklepová vrtačka, ruční mixer a vysoušeč vlasů;
- spínané zdroje - obvod s relé napájený 15 V ss, zapojení viz OBR. 4.4, a obvod s relé napájený 230 V (zapojení obvodu se liší pouze v typu relé a napájecí napětí je střídavé o jmenovité hodnotě 230 V).



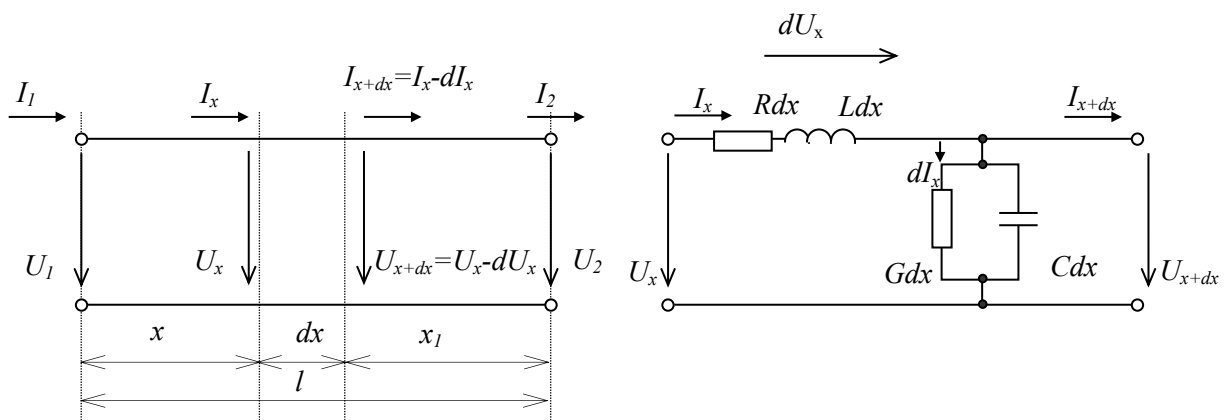
**OBR. 4.4 - Schéma zapojení obvodu s relé 1**

Uvedené zdroje rušení jsou použity při přenosu všech uvažovaných užitečných signálů, podrobně viz kapitola 6.2.

## 5 Regresní matematický model pro identifikaci rušení na přenášené signály

Účastnické vedení je realizováno nejčastěji jako vedení symetrické. Pro potřebu regresního matematického modelování lze využít a aplikovat pro popis homogenních vedení teorii obvodů s rozloženými parametry. U těchto obvodů je potom důležitá jeho délka, kterou nelze zanedbat.

Homogenní vedení se modeluje tak, že vedení o délce  $l$  se rozdělí na nekonečně krátké elementy  $dx$ , viz OBR. 5.1.



OBR. 5.1 - Element homogenního vedení – náhradní schéma

Primárními parametry takového vedení jsou: měrný odpor  $R$  [ $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$ ], měrná indukčnost  $L$  [ $\text{H} \cdot \text{km}^{-1}$ ], měrná kapacita  $C$  [ $\text{F} \cdot \text{km}^{-1}$ ] a měrný svod  $G$  [ $\text{S} \cdot \text{km}^{-1}$ ]. Ke sledování přenosových vlastností se používají sekundární parametry vedení. Relativní změna napětí a proudu v každém elementu se nazývá měrná míra přenosu  $\bar{\gamma}$  a platí:

$$\bar{\gamma} = \frac{d\bar{U}_x}{U_x \cdot dx} = \frac{d\bar{I}_x}{I_x \cdot dx} = \sqrt{(R + j \cdot \omega \cdot L) \cdot (G + j \cdot \omega \cdot C)} = \alpha + j \cdot \beta \quad (5-1)$$

kde  $\alpha$  [ $\text{dB} \cdot \text{km}^{-1}$ ] je měrný útlum a  $\beta$  [ $\text{rad} \cdot \text{km}^{-1}$ ] je měrný fázový posun. Poměr napětí a proudu v každém bodě homogenního vedení je stálý a nazývá se charakteristická (vlnová) impedance vedení, (SCHLITTER, 1995):

$$\bar{Z}_o = \sqrt{\frac{R + j \omega L}{G + j \omega C}} \quad (5-2)$$

Amplituda napětí a proudu se v každém místě vedení skládá ze dvou složek - přímé vlny, která se šíří směrem od začátku vedení, a odražené vlny (zpětné), která se šíří směrem od konce vedení a která je nežádoucí. Impedančně přizpůsobené vedení je takové vedení, u kterého je zatěžovací impedance  $Z_2$  rovna právě charakteristické impedanci  $Z_0$ . V tomto případě nevzniká odražená vlna a celý výkon vedení se spotřebuje v zátěži. Impedanční přizpůsobení se požaduje u všech homogenních vedení. Stupeň korektnosti impedančního přizpůsobení vyjadřuje koeficient odrazu  $r$  nebo útlum nepřizpůsobení (SVOBODA, 2000); je dán vztahem

$$r = \left| \frac{Z_2 - Z_0}{Z_2 + Z_0} \right| \quad (5-3)$$

### Útlum, délka a průměr vodičů vedení

Nejdůležitějším parametrem ovlivňujícím přenos elektrických signálů je útlum  $A$  [dB], který obecně omezuje dosah širokopásmových systémů. Každý elektrický signál, který se šíří vedením je tlumený. Větší vzdálenost mezi ústřednou a účastníkem útlum zvyšuje a navíc jeho skutečná hodnota závisí na frekvenci. Frekvenční závislost útlumu vyplývá z frekvenční závislosti primárních parametrů vedení. Čím je frekvence vyšší, tím je i útlum vyšší. Útlum je základním parametrem metalických symetrických telekomunikačních vedení a vyjadřuje schopnost tohoto vedení přenést signál s elektrickým výkonem  $P$  [W] ze vstupu na výstup. Symetrické páry s vyšším průměrem vodičů mají menší útlum než páry s nižším průměrem vodičů. Útlum rovněž závisí na typu použité izolace kabelu, což souvisí s permitivitou izolace, (VODRÁŽKA, a další, 2008).

Průměr vodičů vedení vypovídá o vhodnosti použití daného média pro přenos dat. Obecně platí, že schopnost kanálu přenést informaci (pro danou délku) roste se zvyšujícím se průměrem vodičů.

Je zřejmé, že všechny uvedené případy nelze popsat univerzálním popisem, a to ani při stanovení většího počtu parametrů modelu. Každé účastnické vedení má svá specifika, a proto budou stanoveny zásadní parametry a pro praktické použití bude model řešen v omezeném rozsahu.

## 5.1 Obecný popis regresního matematického modelu

Obecnou rovnici ve tvaru

$$y=f(x_1,x_2,\dots,x_n) \quad (5-4)$$

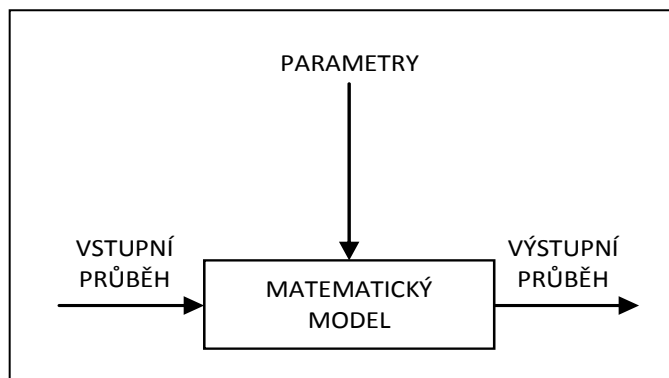
lze řešit metodou dílčích vztahů, přičemž výsledná závislost je ve tvaru

$$y=K \cdot \varphi(x_1) \cdot \varphi(x_2) \cdot \dots \cdot \varphi(x_n) \quad (5-5)$$

a  $\varphi(x_1), \varphi(x_2), \dots, \varphi(x_n)$  jsou vztahy získané z regresních náhrad, (RALSTON, 1973).

## 5.2 Popis regresního matematického modelu účastnického vedení

Všechna měření jsou organizována tak, aby na jejich základě bylo možné sestavit regresní matematický model, pomocí kterého je možné popsat chování nerušeného vedení a následně identifikovat možný zdroj rušení na tomto vedení. Blokové schéma matematického modelu je uvedeno na Obr. 5.2.



**OBR. 5.2 - Blokové schéma regresního matematického modelu**

Hlavním cílem matematického modelu je nahradit reálné účastnické vedení. Chování vedení ovlivňují obecně dva parametry - zatěžovací impedance, která u účastnických vedení nebývá velmi často impedancí charakteristickou, primární parametry vedení a frekvence.

Vstupní signál pro matematický model se uvažuje volitelný, a je možné volit buď signál analogový, nebo číslicový. Analogový signál je reprezentován signálem hovorovým, tj. signálem v pásmu 300 – 3 400 Hz. Číslicový signál je možné definovat z pohledu přenosové rychlosti ve dvou variantách. Základním je signál s přenosovou rychlostí  $64 \text{ kbit.s}^{-1}$ , který se využívá pro přenos hovoru PCM nebo pro přenos dat podle doporučení X.50 nebo X.51. Druhý typ signálu má přenosovou



rychlost  $2\,048\text{ kbit.s}^{-1}$  a odpovídá standardním formátům toků E1 používaných pro přenos hovorů a dat, (PETŘÍKOVÁ, 2010).

### 5.3 Stanovení parametrů a funkčních závislostí pro matematický model

Vzhledem k tomu, že základem regresního matematického modelu, a v podstatě celé práce, je věrohodnost všech vykonaných měření, byl na tuto fázi řešení položen velký důraz. Protože všechna měření jsou prováděna ve spektrální oblasti a vstupní signál je časově proměnný, nelze předem systematickou chybu vypočítat. Tato skutečnost však není na závadu, neboť hlavním cílem měření není určení skutečné hodnoty měřené veličiny v konkrétním bodě, ale cílem je zjistit časový průběh výstupního signálu resp. jeho spektrální obraz. Nehomogenity použitého vedení, vliv reálného vstupního signálu a charakter prostředí mají na výstupní signál značný vliv, který při vyhodnocení musí být akceptován.

Jestliže hlavním cílem disertační práce je identifikování možného zdroje rušení na reálném účastnickém vedení, jedná se vždy o měření v provozu. Z této skutečnosti potom vyplývají další požadavky na jednoduchost měření, použití běžně dostupných měřicích přístrojů a odbornou nenáročnost měření. Uvedený problém je řešen ve dvou rovinách, a to rovině měření potřebných pro sestavení matematického modelu a rovině provozních měření.

Jako účastnické vedení byl po konzultacích s pracovníky telekomunikační firmy vybrán nejčastěji používaný typ kabelu pro účastnická vedení, a to kabel SYKFY. Jedná se o kabel, který obsahuje 2 páry vodičů o průměru 0,5 mm.

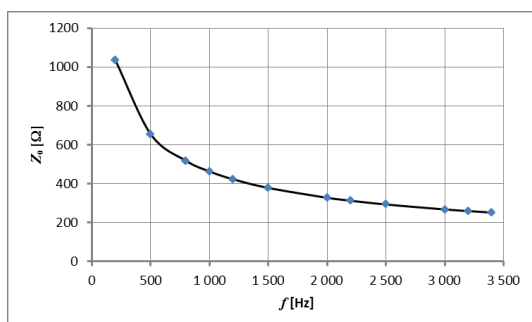
#### 5.3.1 Určení sekundárních parametrů vedení

Sekundární parametry vedení byly stanoveny ze vzorců (5-1) a (5-2). Primární parametry byly stanoveny měřením a jejich hodnoty jsou následující – odpor  $198,96\ \Omega.\text{km}^{-1}$ , indukčnost  $0,49\text{ mH.km}^{-1}$ , kapacita  $147,96\text{ nF.km}^{-1}$ , svod je zanedbatelný.

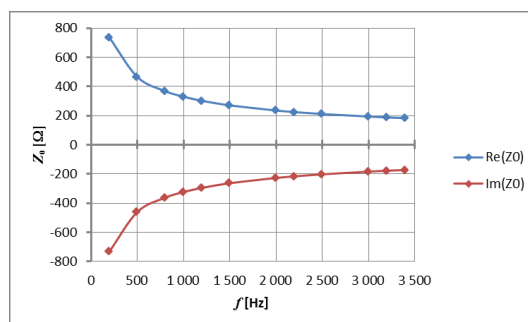
Vlnová impedance i měrná míra přenosu jsou komplexní veličiny. Určuje je tedy absolutní hodnota a argument nebo v algebraickém tvaru velikost reálné a imaginární složky. Frekvenční charakteristika absolutní hodnoty vlnové impedance je uvedena na Obr. 5.3 a frekvenční charakteristiky reálné a imaginární složky vlnové impedance jsou na Obr. 5.4. Frekvenční charakteristiky reálné a imaginární složky měrné míry přenosu  $\gamma$  jsou uvedeny na Obr. 5.5, přičemž průběh reálné složky měrné míry přenosu odpovídá frekvenční charakteristice měrného útlumu  $\alpha$  v jednotkách  $\text{Np.km}^{-1}$  a průběh imaginární složky měrné míry přenosu odpovídá měrnému fázovému posunu  $\beta$

v jednotkách  $\text{rad.km}^{-1}$ . Frekvenční charakteristika útlumu použitého kabelu v decibelech je na OBR. 5.6. Všechny průběhy odpovídají teoretickým předpokladům.

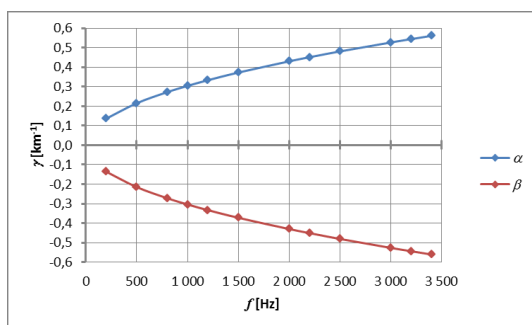
5.6. Všechny průběhy odpovídají teoretickým předpokladům.



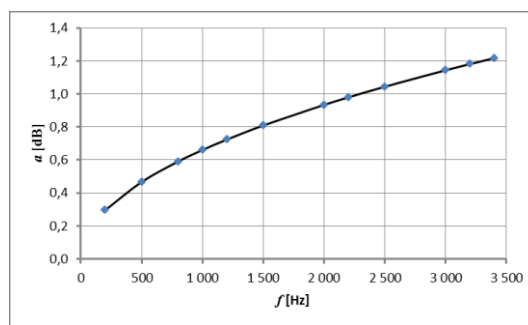
OBR. 5.3 - Frekvenční závislost absolutní hodnoty vlnové impedance



OBR. 5.4 - Frekvenční závislost reálné a imaginární složky vlnové impedance



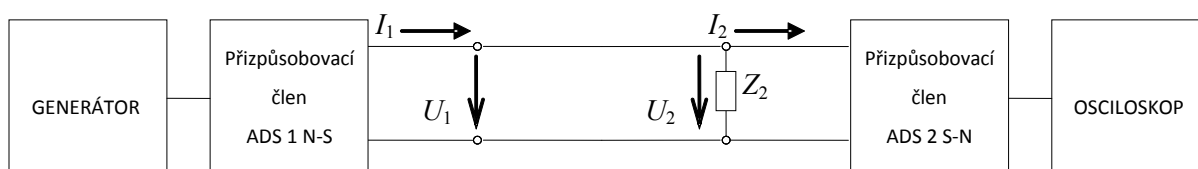
OBR. 5.5 - Frekvenční závislost měrné míry přenosu



OBR. 5.6 - Frekvenční závislost útlumu vedení

### 5.3.2 Určení funkčních závislostí parametrů modelu

Všechna měření se uskutečnila na pracovišti využívající standardní měřicí přístroje zapojené do řetězce podle OBR. 5.7.



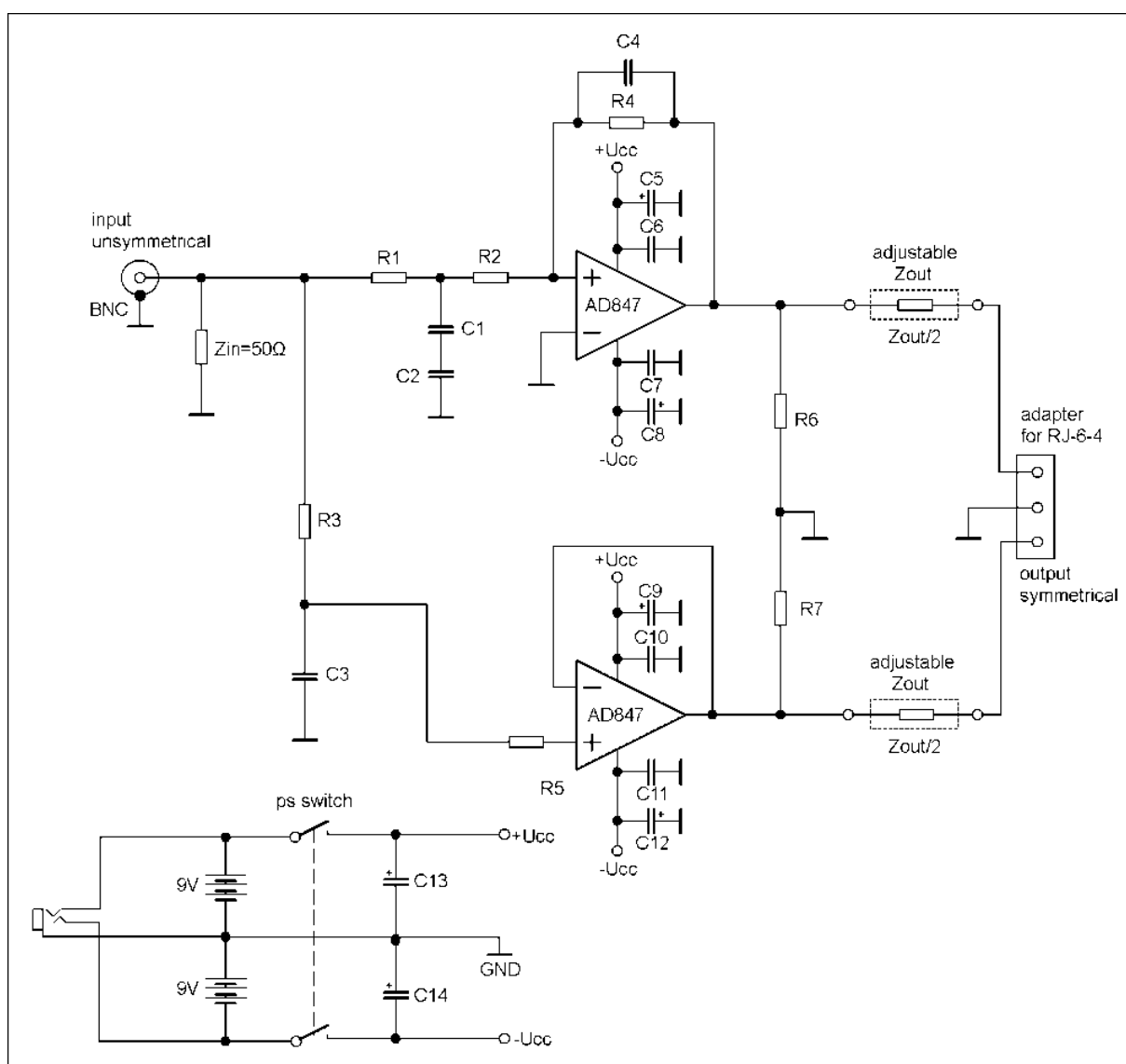
OBR. 5.7 - Blokové schéma měření

Všechna měření potřebná pro řešení disertační práce byla vykonána generátorem typu AGILENT 33210A, který umožňuje generování jak analogových, tak číslicových periodických signálů,

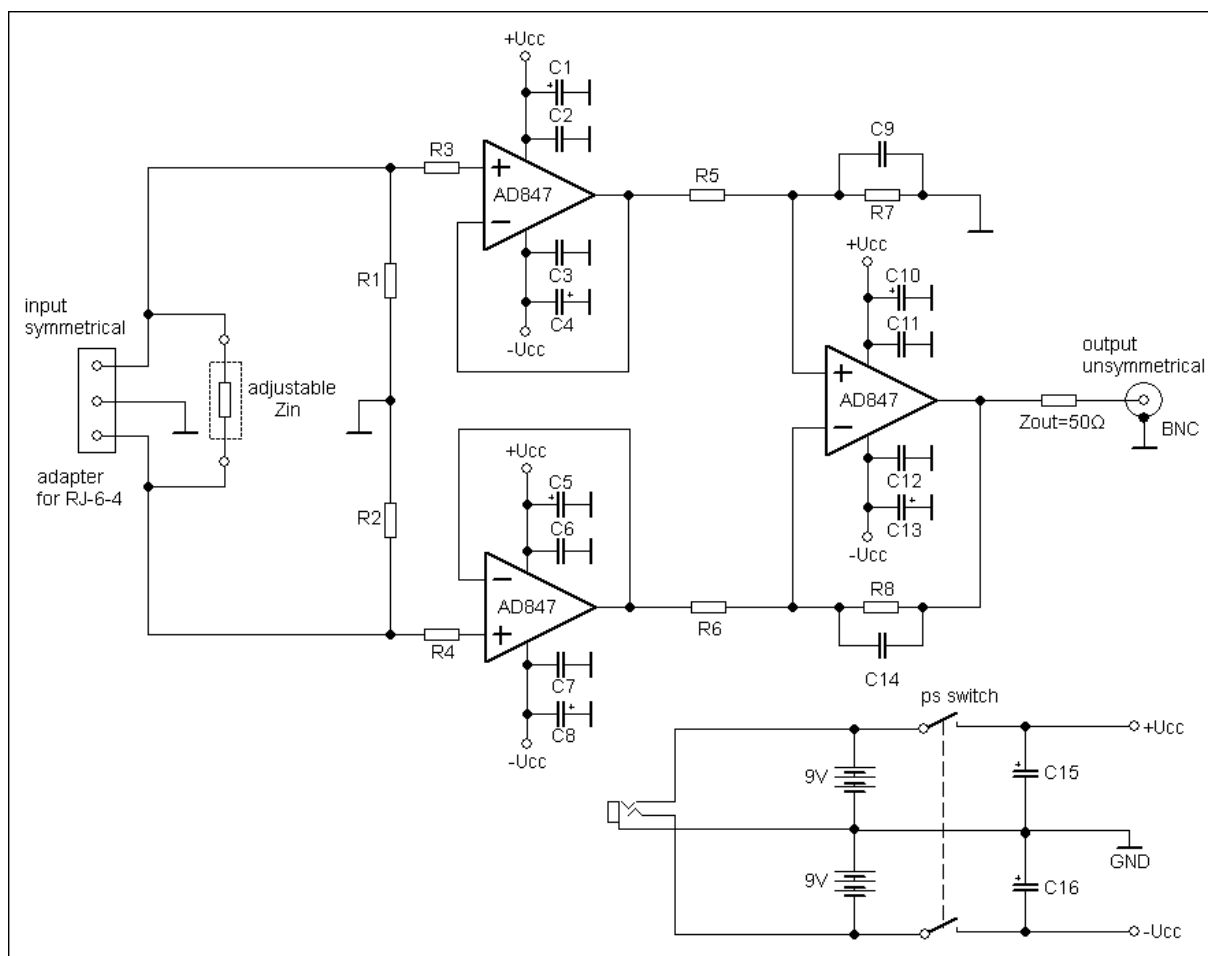
a osciloskopem typu TDS 1002B, který umožňuje měření realizovat přímo ve spektrální oblasti a naměřené průběhy přenést prostřednictvím rozhraní USB k dalšímu počítačovému zpracování.

Vzhledem k tomu, že použitý generátor má nesymetrický výstup o impedanci  $50\ \Omega$ , byl generátor k vedení připojen přes přizpůsobovací člen, stejně jako osciloskop s nesymetrickým vstupem a impedancí  $1\text{M}\Omega/20\text{pF}$ . Jednotlivé přizpůsobovací členy byly navrženy a vyrobeny na Katedře telekomunikační techniky a schéma jejich zapojení je uvedeno na OBR. 5.8 a na OBR. 5.9., (PETŘÍKOVÁ, et al., 2012).

Pro eliminování náhodných chyb, které vznikají náhodnými rušivými vlivy, bylo každé měření při stejných parametrech a nastavení opakováno desetkrát. Uváděné průběhy jsou proto vždy statistickým výsledkem všech deseti měření.



OBR. 5.8 - Zapojení ADS 1 N-S



OBR. 5.9 - Zapojení ADS 2 S-N

Kromě statistického zpracování naměřených závislostí bylo uvažováno i se systematickou chybou měřicího řetězce. Tato chyba zahrnuje reálný průběh generovaného vstupního signálu a možné odrazy signálu v bodech připojení. K jejímu eliminování byla zvolena metoda hodnocení přírůstků signálu. Od vstupního signálu je odečten výstupní průběh a tím je získán přímý vliv rušícího zdroje na vedení.

Vliv parametrů matematického modelu byl konzultován s pracovníky provozujících přístupové sítě a zabezpečujícími výstavbu a údržbu sítí a na základě jejich doporučení nebyl následně parametr délky vedení uvažován. U většiny realizovaných přípojek není známa délka metalického přípojného vedení. Odbočka z uzlu sítě je realizována optickým vláknem a rozvod metalickým vedením se provádí pouze v budově. Průměrná délka metalického vedení je kolem 250 m. V této fázi řešení byla uvedená délka přímo zahrnuta do matematického modelu. V případě potřeby lze matematický model upravit tak, aby délka vedení mohla do výpočtu vstupovat jako parametr.

Vliv zatěžovací impedance byl zjišťován experimentálně souborem měření, při kterých byla jako zatěžovací impedance použita odporová dekáda. Měření byla uskutečněna při frekvenci 800 Hz a pro různé hodnoty zátěže v rozmezí hodnot od 100 ohmů do 1900 ohmů.

Vliv frekvence byl zjišťován experimentálně dalším souborem měření, při kterých bylo místo zatěžovací impedance o hodnotě obrazové impedance použito tříprvkové zapojení s hodnotami prvků podle doporučení ITU-T. Měření byla provedena pro frekvence v intervalu od 100 Hz do 3,4 kHz.

Z naměřených závislostí jsou metodou nejmenších čtverců sestaveny následující funkční závislosti. Na obrázku OBR. 5.10 jsou znázorněny hodnoty útlumu  $A$  získané měřením v závislosti na impedanci zátěže při konstantní frekvenci a na obrázku OBR. 5.11 jsou znázorněny hodnoty útlumu  $A$  získané měřením v závislosti na frekvenci zátěže při konstantní zátěži.

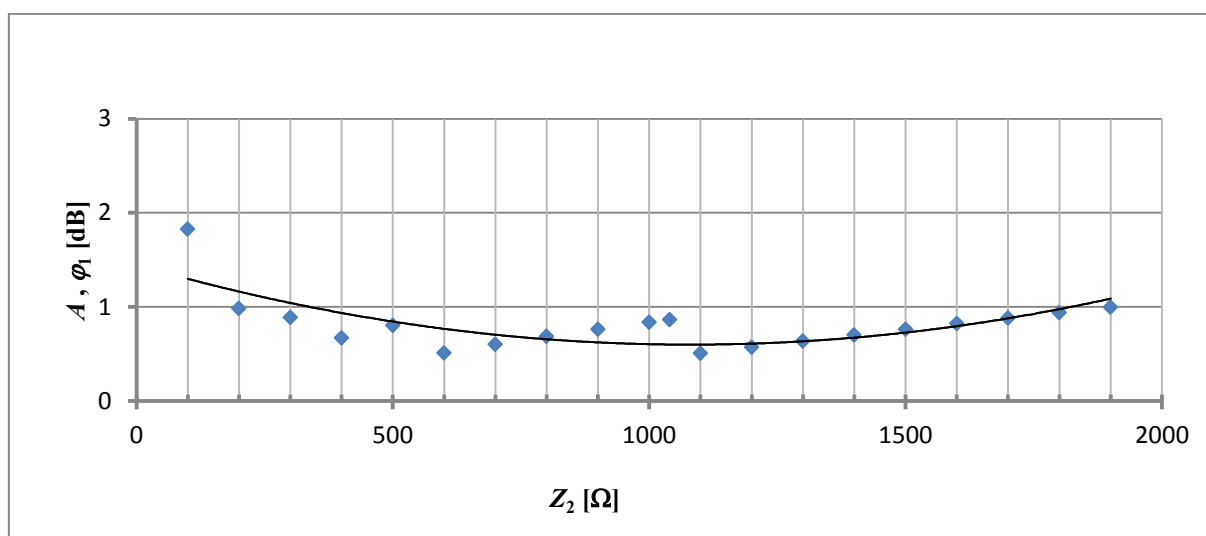
Funkce  $\varphi_1(Z_2)$  popisující vliv zatěžovací impedance vedení  $Z_2$  je určena kvadratickou regresí z naměřených hodnot, viz OBR. 5.10 a je dána vztahem

$$\varphi_1(Z_2) = 7 \cdot 10^{-7} Z_2^2 - 0,0016 Z_2 + 1,448 \quad (5-6)$$

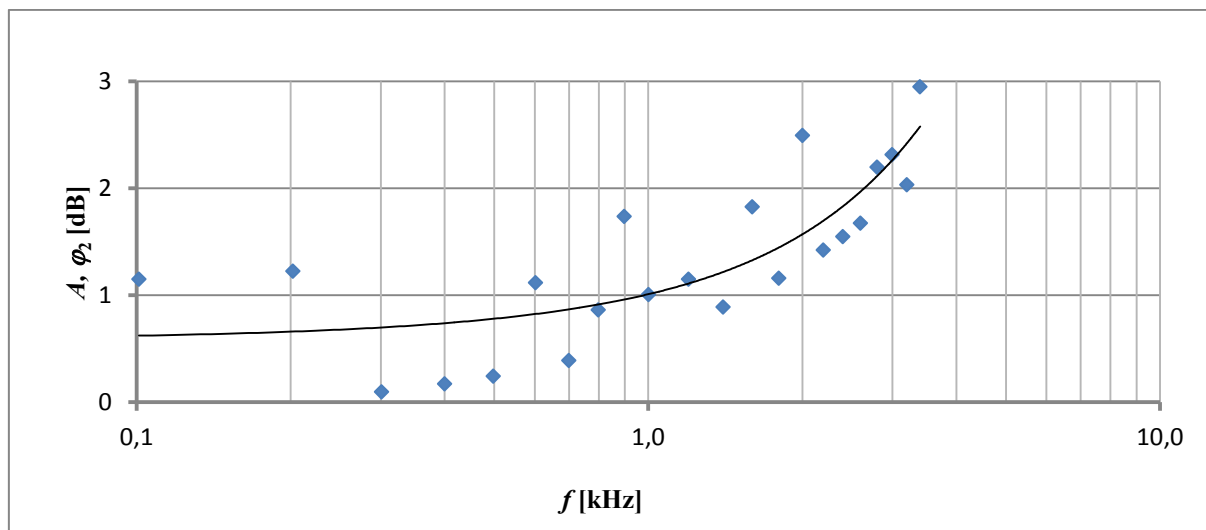
Obdobně, viz OBR. 5.11, je funkce  $\varphi_2(f)$  dána vztahem

$$\varphi_2(f) = 0,0676 f_2^2 + 0,3565 f_2 + 0,5856 \quad (5-7)$$

Těsnost regresních náhrad je vyjádřena koeficientem regrese a pro průběh na OBR. 5.10 je  $R^2 = 0,56$  a pro průběh na OBR. 5.11 je  $R^2 = 0,65$ .



OBR. 5.10 - Závislost útlumu na impedanci zátěže pro frekvenci 800 Hz



OBR. 5.11 - Závislost útlumu na frekvenci pro zátěž 1040 Ω

## 5.4 Regresní matematický model účastnického vedení

Na základě měření uvedených v předcházející kapitole byl sestaven regresní matematický model pro výpočet útlumu v závislosti na zatěžovací impedanci vedení  $Z_2$  a v závislosti na frekvenci  $f$ :

$$A = K \cdot \varphi_1(Z_2) \cdot \varphi_2(f) \quad (5-8)$$

Po dosazení vztahů (5-6) a (5-7) má regresní matematický model přístupového vedení tvar:

$$A = 1,744 \cdot (7 \cdot 10^{-7} Z_2^2 - 0,0016 Z_2 + 1,448) \cdot (0,0676 f^2 + 0,3565 f + 0,5856) \quad [\text{dB}; \Omega, \text{kHz}] \quad (5-9)$$

Konstanta  $K$  z rovnice (5-8) byla určena na základě změřených a vypočtených hodnot pro  $f = 0,8$  kHz a  $Z_2 = 1040 \Omega$

$$K = \frac{A}{\varphi_1(Z_2) \cdot \varphi_2(f)} = \frac{0,862}{0,541 \cdot 0,914} = 1,744 \quad (5-10)$$

Útlum  $A$  byl stanoven měřením pro vedení dlouhé 250 m,  $\varphi_1(Z_2)$  bylo určeno ze vztahu (5-6) a  $\varphi_2(f)$  ze vztahu (5-7), (PETŘÍKOVÁ, 2011).

## 5.5 Porovnání regresního matematického modelu s modelem analytickým

Analytický matematický model vychází ze známých sekundárních parametrů vedení a výpočtu útlumu podle vztahu

$$A = 10 \cdot \log \frac{P_1}{P_2} \quad [\text{dB}; \text{W}, \text{W}] \quad (5-11)$$

kde  $P_1$  představuje vstupní výkon a  $P_2$  výkon výstupní. Jestliže

$$P_2 = \frac{U_2^2}{Z_2} \quad [\text{W}; \text{V}, \Omega] \quad (5-12)$$

a

$$P_1 = \frac{U_1^2}{Z_1} \quad [\text{W}; \text{V}, \Omega] \quad 5-13$$

potom pro útlum vyjádřený v decibelech platí

$$A = 10 \cdot \log \frac{U_1^2}{Z_1} \cdot \frac{Z_2}{U_2^2} = 20 \cdot \log \frac{U_1}{U_2} + 10 \cdot \log \frac{Z_2}{Z_1} \quad [\text{dB}; \text{V}, \Omega] \quad 5-14$$

Dle (ŠKOP, a další, 1991).

Vstupní impedance je vypočtena podle vztahu

$$\overline{Z_1} = \overline{Z_0} \cdot \frac{\overline{Z_2} \cdot \cosh(\overline{\gamma} \cdot l) + \overline{Z_0} \cdot \sinh(\overline{\gamma} \cdot l)}{\overline{Z_2} \cdot \sinh(\overline{\gamma} \cdot l) + \overline{Z_0} \cdot \cosh(\overline{\gamma} \cdot l)} \quad 5-15$$

Pro výpočet napětí na konci vedení byl použit vztah

$$\overline{U_2} = \frac{\overline{U_1}}{\cosh(\overline{\gamma} \cdot l) + \frac{\overline{Z_0}}{\overline{Z_2}} \cdot \sinh(\overline{\gamma} \cdot l)} \quad 5-16$$

Přesné řešení vedení musí respektovat skutečnost rovnoměrného rozložení parametrů vedení podél celé jeho délky. Okamžité hodnoty proudu a napětí jsou závislé nejen na čase, ale i na místě, ve kterém okamžité hodnoty určujeme.

V harmonickém režimu popisují chování dlouhého vedení diferenciální rovnice s efektivními hodnotami napětí a proudu. Napětí a proud jsou zde jen funkcí souřadnice, ale v čase jsou konstantní.

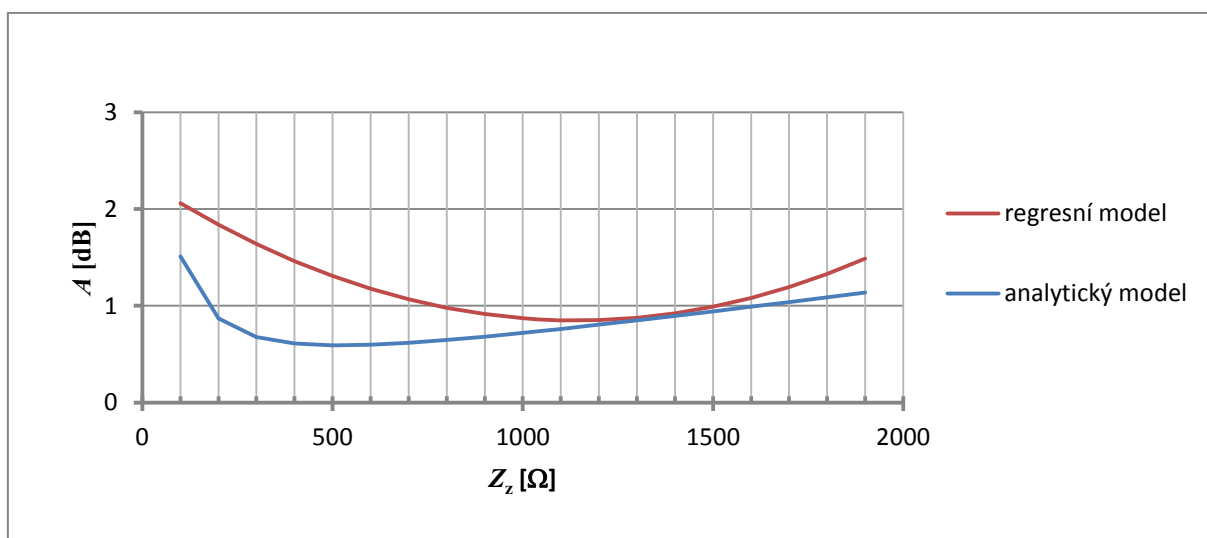
Vztahy (5-15) a (5-16) byly proto odvozeny ze známých kaskádových rovnic vedení

$$\begin{aligned}\overline{U}_1 &= \overline{U}_2 \cdot \cosh(\overline{\gamma} \cdot l) + \overline{Z}_0 \cdot \overline{I}_2 \cdot \sinh(\overline{\gamma} \cdot l) \\ \overline{I}_1 &= \frac{\overline{U}_2}{\overline{Z}_0} \cdot \sinh(\overline{\gamma} \cdot l) + \overline{I}_2 \cdot \cosh(\overline{\gamma} \cdot l)\end{aligned}$$

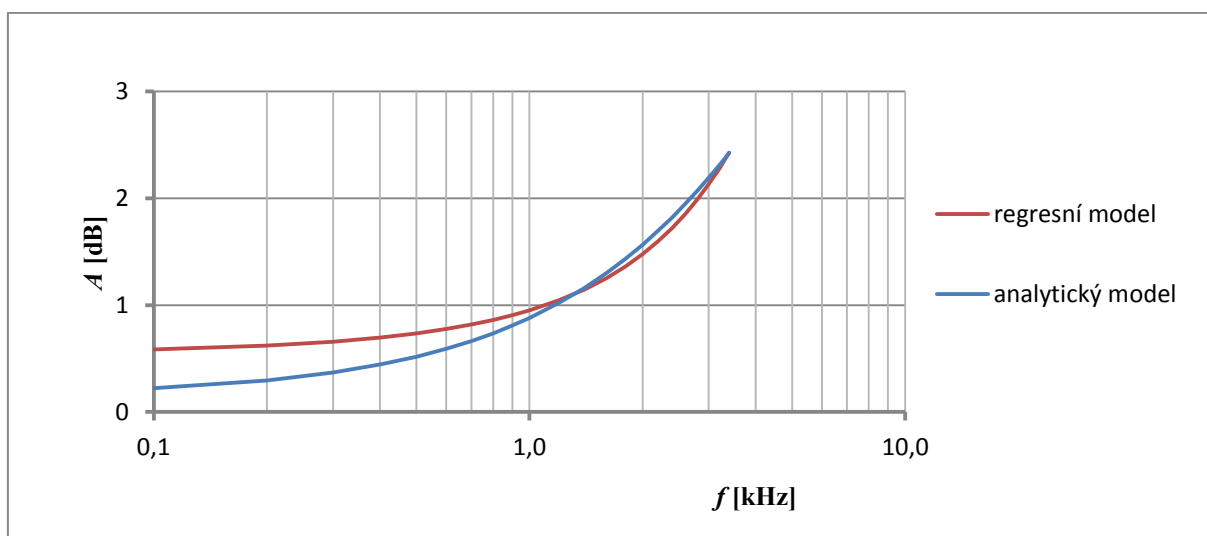
5-17

Dle (SCHLITTER, 1995).

Těsnost a vhodnost regresního matematického modelu je porovnávána s modelem analytickým na OBR. 5.12 a OBR. 5.13. Z porovnání je zřejmá shoda průběhů obou modelů. Odchyłky od průběhu útlumu do velikosti zatěžovací impedance cca 500  $\Omega$  a pro frekvence do 1 kHz mohou být způsobeny použitými přístroji.



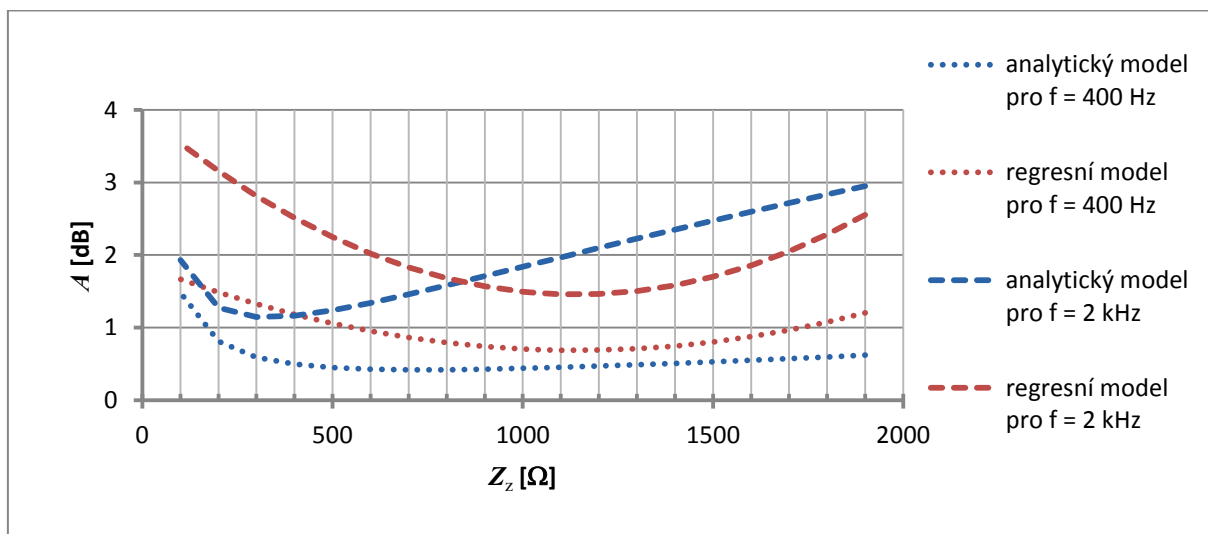
OBR. 5.12 - Modely závislosti útlumu na impedanci zátěže pro frekvenci 800 Hz



OBR. 5.13 - Modely závislosti útlumu na frekvenci pro zátěž 1040  $\Omega$

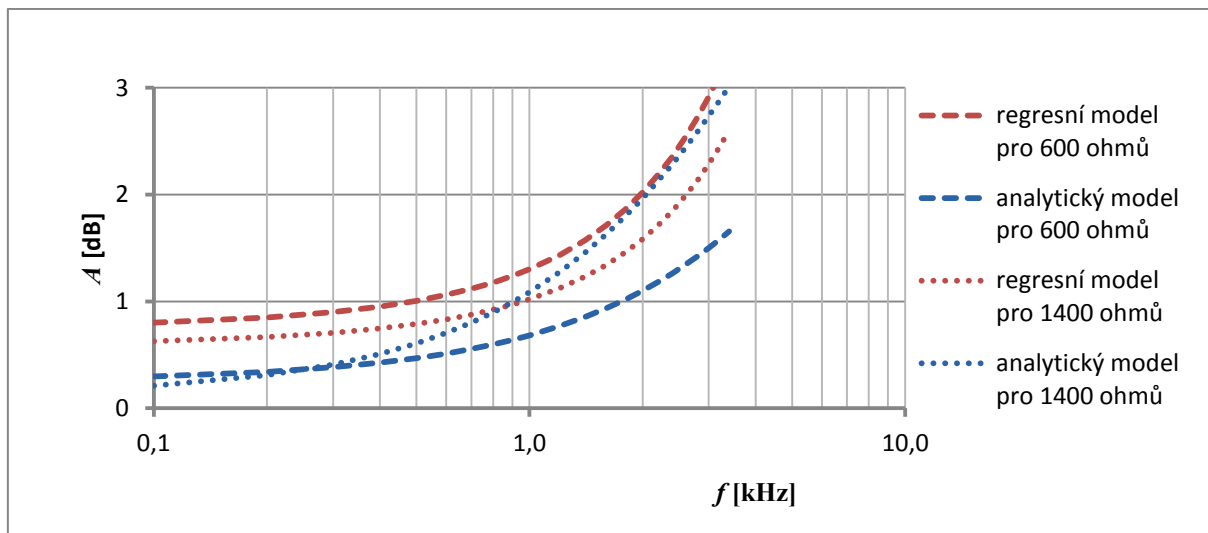


Porovnání závislostí útlumu na zátěži je pro další zvolené frekvence na OBR. 5.14. Také zde je vidět shoda mezi modelem analytickým a regresním, která při zátěži nad 500  $\Omega$  nepřesahuje rozdíl 1 dB.



OBR. 5.14 - Závislost útlumu na zátěži pro různé hodnoty frekvence

Podobně je uvedeno také porovnání závislostí útlumu na frekvenci pro další hodnoty zátěže na OBR. 5.15. Zde je vidět, že nejvíce se modely shodují při frekvenci nad 1 kHz a zátěži 1 400  $\Omega$ .



OBR. 5.15 - Závislost útlumu na frekvenci pro různé hodnoty zátěže

## 6 Stanovení vlivu rušení vybraných zdrojů

Identifikace neznámého venkovního zdroje rušení účastnického vedení probíhá ve dvou fázích. V první fázi se pomocí regresního matematického modelu vypočítá spektrum signálu, pro který je přípojka využívána. K tomu je zapotřebí znát zatěžovací impedanci účastnického vedení a jeho přibližnou délku. Uvedené hodnoty vstupují do matematického modelu jako parametry. Druhá fáze zahrnuje praktické měření na rušeném vedení při stejném časovém průběhu přenášeného signálu. Převodem naměřeného průběhu do spektrální oblasti se získá spektrum známého, přenášeného signálu se superponovaným rušícím signálem. Při porovnání obou uvedených spekter, resp. jejich odčítáním, se získá průběh rušícího signálu ve spektrální oblasti. Podle charakteristických frekvencí rušícího signálu lze usuzovat na potenciální zdroj rušení.

Je zřejmé, že k určení zdroje rušení je zapotřebí znalost spekter co nejvíce spotřebičů, resp. zdrojů rušících signálů. V rámci disertační práce byly stanoveny spektra šesti rušících zdrojů.

Za účelem stanovení vlivu venkovního rušení na účastnické vedení byla vykonána celá řada praktických měření při známém zdroji rušení. Všechna měření se uskutečnila podle zapojení a popisu v kap. 5.3.2. Měření se uskutečnila ve třech souborech lišících se přenášeným užitečným signálem. Vzhledem k využívání účastnické přípojky byly zvoleny následující signály:

- analogový o frekvenci 800 Hz,
- impulsní se střídou 1:1 a přenosovou rychlostí  $64 \text{ kbit.s}^{-1}$ ,
- impulsní se střídou 1:1 a přenosovou rychlostí  $2\,048 \text{ kbit.s}^{-1}$ .

Představitelé zdrojů rušení byly vybrány podle kap. 4.2, přičemž se jedná o:

- mikrovlnnou troubu,
- elektrickou příklepovou vrtačku,
- elektrický ruční mixer,
- vysoušeč vlasů,
- obvod s relé 1 napájený 15 V,
- obvod s relé 2 napájený 230 V.

Osciloskop typu TDS 1002B, který byl pro měření používán, umožňuje měření přímo ve spektrální oblasti a frekvenční spektrum počítá pomocí rychlé Fourierovy transformace. Zobrazený průběh potom udává úroveň signálu v decibelech vztaženou k  $1 \text{ V}_{\text{ef}}$  v závislosti na frekvenci. Pro jednoduchou

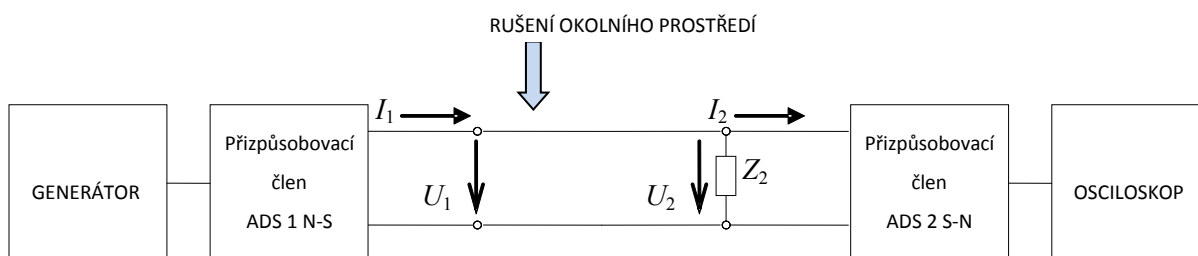
a rychlou analýzu naměřených průběhů byl proto signál generátoru nastaven vždy na hodnotu 1 V<sub>ef</sub>. Naměřená data byla přenesena prostřednictvím rozhraní USB do počítače a dále zpracována – viz obrázky zařazené do následujících podkapitol. Všechny průběhy získané přímo z osciloskopu jako obrázky ve formátu jpg jsou uvedeny v přílohách 1 až 7.

## 6.1 Měření na nerušeném účastnickém vedení

Vzhledem k tomu, že použitý generátor signálů není schopen generovat teoretické průběhy a reálné průběhy jsou mírně zkresleny, byla provedena měření i těchto vstupních signálů do vedení. Rozdíly ve spektru výstupního průběhu nerušeného vedení a vstupujícího signálu potom zahrnují vliv okolního prostředí, ve kterém se všechna měření uskutečnila. Průběhy výstupních signálů uváděné na následujících obrázcích a všechny průběhy zařazené do přílohy 1, zahrnují tedy i vlivy okolního prostředí.

### 6.1.1 Stanovení vlivu okolního prostředí

Je zřejmé, že změřené výstupní průběhy, tj. průběhy naměřené na zatěžovací impedanci vedení, budou zatíženy kromě nepřesnosti generovaného vstupního signálu i nedefinovaným rušením okolního prostředí, OBR. 6.1.



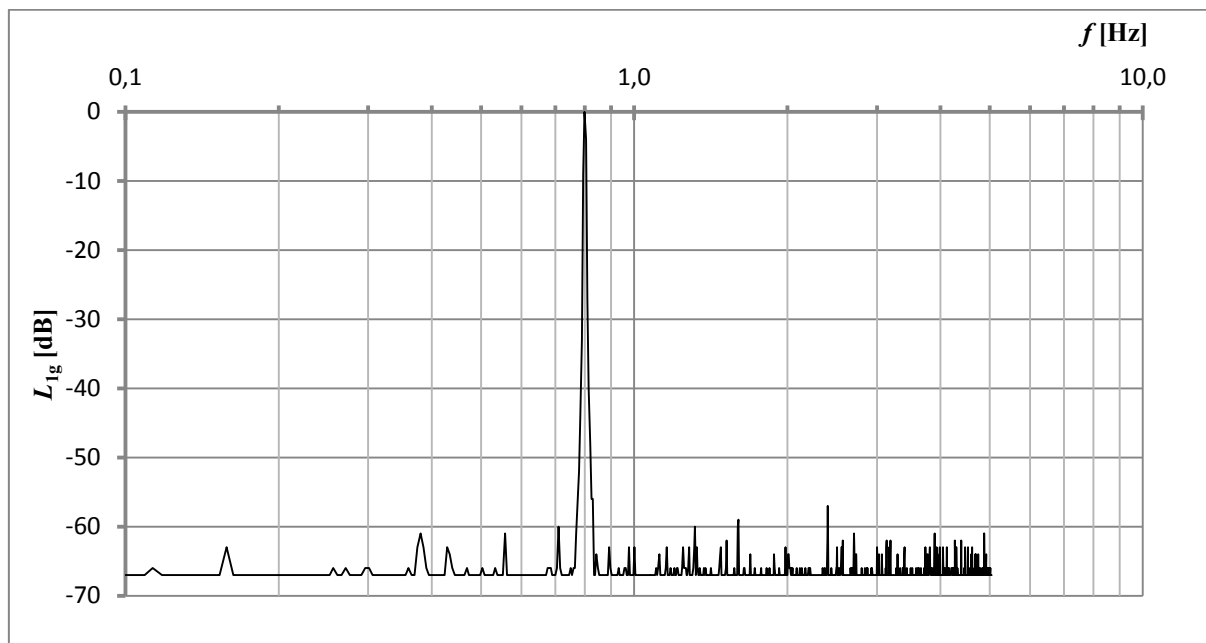
**OBR. 6.1 - Blokové schéma měření s rušením okolního prostředí**

Jestliže budou všechny výstupní průběhy měřeny na zatěžující impedanci a ke zjišťování vlivu zdroje rušení bude využíváno pouze těchto průběhů, není zapotřebí znát charakter okolního prostředí, resp. reálný generovaný signál. Pro porovnání s teorií a prokázání správnosti těchto závěrů je zařazena následující kapitola.

### 6.1.2 Měření při analogovém vstupním signálu

Spektrum analogového signálu je uvedeno na OBR. 6.2. Měření se uskutečnilo přímo na výstupu generátoru, kde byla nastavena frekvence 800 Hz; naměřené úrovně generátoru jsou označeny jako

$L_{1g}$ . Ve spektru je patrný vliv třetí harmonické s úrovní -57 dB. Nejedná se tedy o úroveň, která by významně zkreslila generovaný sinusový signál. Úrovně nižší představují šum v pásmu hodnot úrovní od -60 do -67 dB.

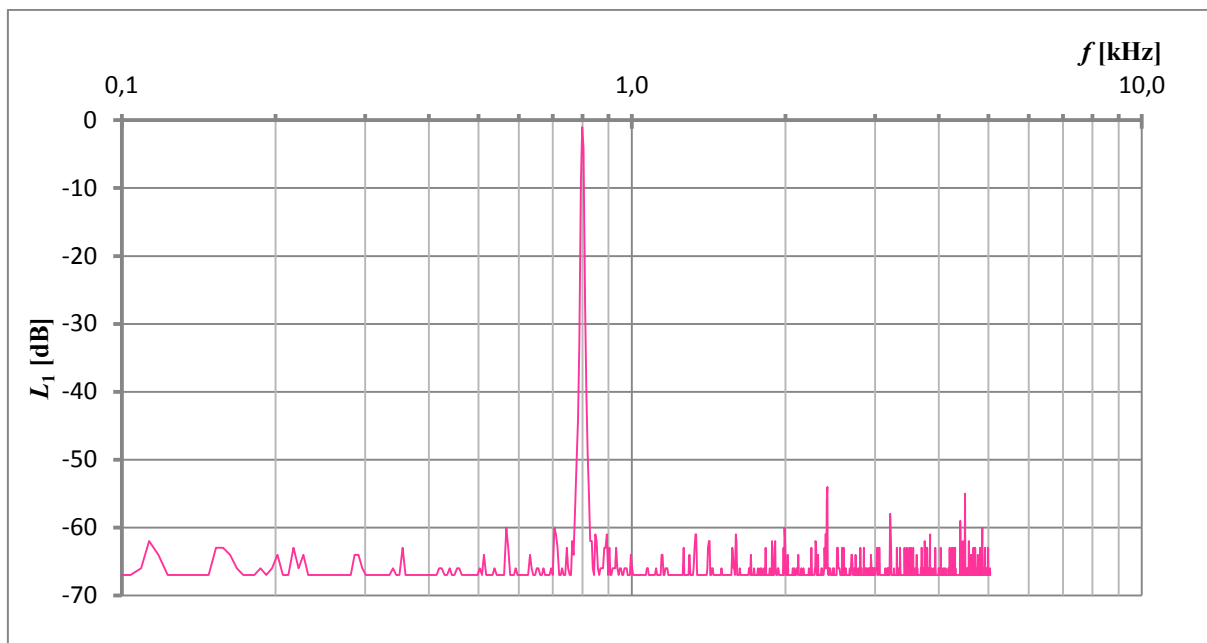


OBR. 6.2 - Spektrum analogového signálu z generátoru

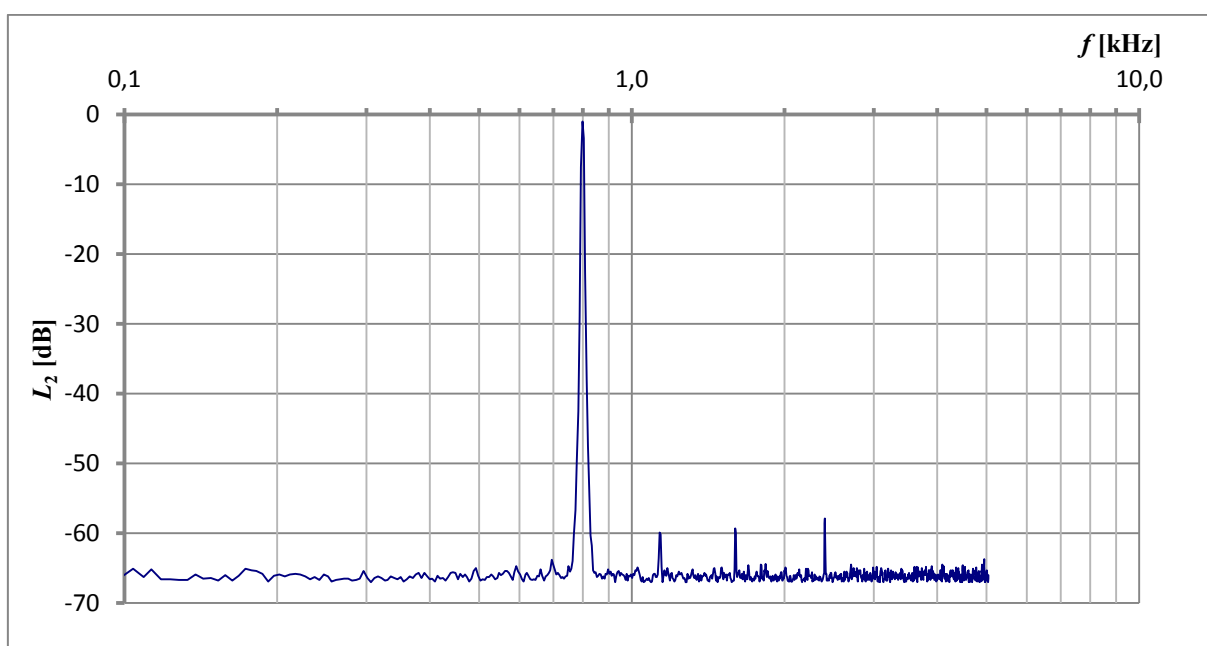
Vzhledem k tomu, že generátor má nesymetrický výstup a osciloskop nesymetrický vstup a měřené vedení je symetrické, byly zařazeny do řetězce přizpůsobovací členy, které zároveň realizují impedanční přizpůsobení. Vliv takto vytvořeného řetězce lze charakterizovat systematickou chybou. Z tohoto důvodu bylo provedeno měření signálu za přizpůsobovacími členy při vstupním signálu generátoru dle OBR. 6.2. Spektrum takto změřeného signálu je uvedeno na OBR. 6.3, úrovně vstupního signálu jsou označeny jako  $L_1$ . Ve spektru je patrný opět vliv třetí harmonické s úrovní -54 dB a dále čtvrté harmonické s úrovní -58 dB. Další významnější frekvencí ve spektru je frekvence 4 500 Hz s úrovní -55 dB. Opět se nejedná o úrovně, které by zkreslily generovaný sinusový signál. Úrovně nižší představují šum v pásmu hodnot úrovní od -60 do -67 dB.

Pásmo hodnot úrovní šumu vstupního signálu s úrovněmi  $L_1$  je stejné jako pásmo šumu signálu generátoru s úrovněmi  $L_{1g}$ . Jedná se tedy o šum generátoru, vliv přizpůsobovacích členů na úroveň šumu je zanedbatelný.

Dalším krokem bylo stanovení vlivu okolního prostředí na vedení. Z tohoto důvodu bylo realizováno měření výstupní úrovně  $L_2$  při připojeném vedení dle OBR. 6.1. Naměřené spektrum, kde jsou patrné tři významné frekvence 1 134 Hz, 1 600 Hz a 2400 Hz, je na OBR. 6.4. Ve spektru je patrný pokles šumu na úroveň hodnot -65 až -67 dB.

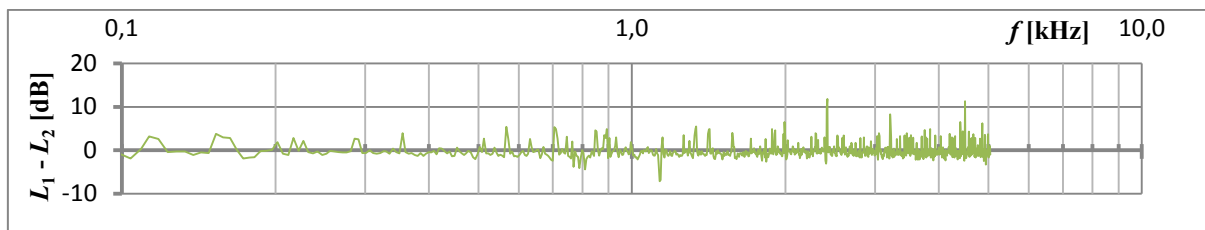


OBR. 6.3 - Spektrum analogového vstupního signálu



OBR. 6.4 - Spektrum analogového signálu na konci nerušeného vedení

Vliv okolí jako rozdíl vstupní a výstupní úrovně je na OBR. 6.5. Tento průběh je pro další měření uvažován jako konstantní a je nazýván systematickou chybou měření, stejně jako vliv obou přizpůsobovacích členů.

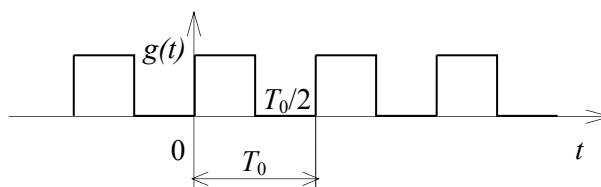


OBR. 6.5 - Rozdíl vstupní a výstupní úrovně analogového signálu

### 6.1.3 Měření při impulsním signálu s přenosovou rychlostí $64 \text{ kbit.s}^{-1}$

Všechna měření, provedená s impulsním vstupním signálem o přenosové rychlosti  $64 \text{ kbit.s}^{-1}$ , byla vykonána při nastavení generátoru na obdélníkový signál se střídou 1:1. Toto nastavení odpovídá průběhu signálu na vedení při neobsazeném základním kanálu u systémů PCM, kdy je konstantní hodnota napětí linkovým kódem převedena na bipolární obdélníkový signál se střídou 1:1. Přestože se na účastnickém vedení linkové kódy nepoužívají, je pro analýzu naměřených výstupů tímto umožněna rychlejší orientace ve spektrech.

Transformace ideálního periodického obdélníkového signálu uvedeného na OBR. 6.6 do spektrální oblasti představuje čárové spektrum, tvořené základní frekvencí a lichými harmonickými základní frekvence. Amplituda jednotlivých harmonických hyperbolicky klesá.

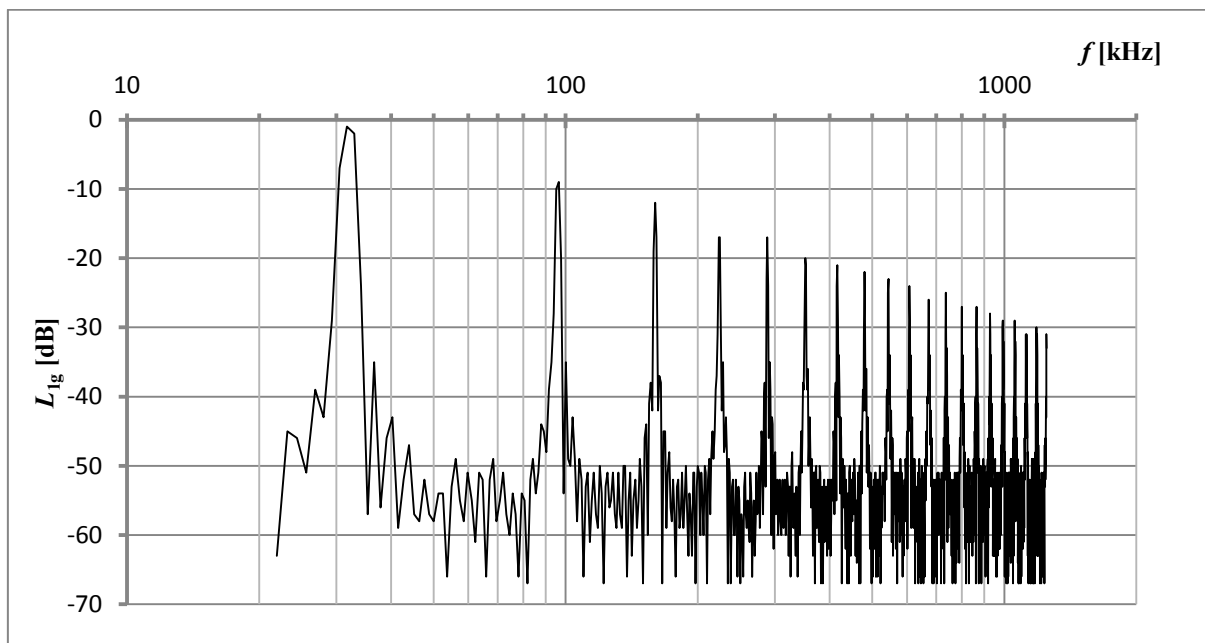


OBR. 6.6 - Časový průběh ideálního periodického obdélníkového signálu

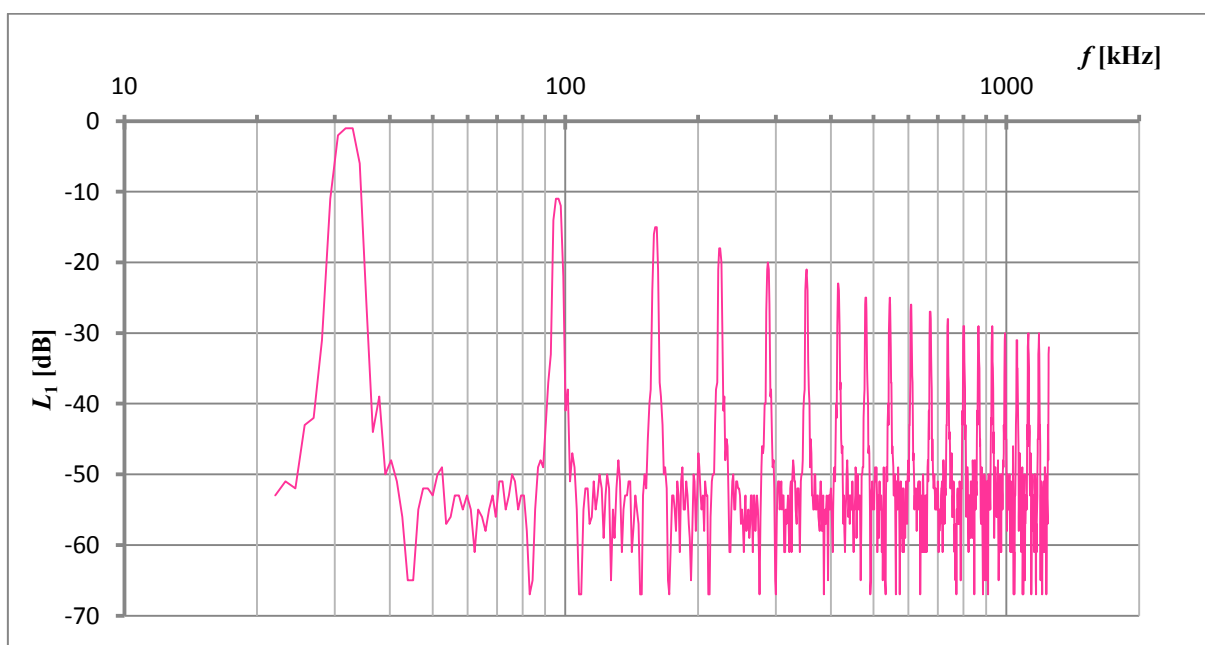
Spektrum signálu, měřeného na výstupu generátoru, kde byla nastavena frekvence  $32 \text{ kHz}$ , je uvedeno na OBR. 6.7 ( $f = 1/T_0 = 1/31,25 \cdot 10^{-6} = 32 \cdot 10^3 \text{ Hz}$ , kde  $T_0 = 2 \cdot T/N = 31,25 \cdot 10^{-6} \text{ s}$ , počet bitů je  $N = \nu \cdot T = 64 \cdot 10^3 \cdot 125 \cdot 10^{-6} = 8$ ,  $\nu$  je přenosová rychlost  $64 \text{ kbit.s}^{-1}$  a  $T$  je základní časový interval rámce). Kromě základní frekvence obsahuje spektrum i odpovídající liché harmonické s klesající amplitudou  $96 \text{ kHz}$ ,  $160 \text{ kHz}$ ,  $224 \text{ kHz}$  atd. Protože generování ideálního periodického obdélníkového signálu není reálné, obsahuje spektrum i jiné frekvence, včetně frekvencí sudých harmonických s úrovní cca  $-52 \text{ dB}$ .

Spektrum vstupního signálu měřené za přizpůsobovacími členy je uvedeno na obr. OBR. 6.8. Z obrázku je vidět, že liché harmonické jsou za přizpůsobovacími členy utlumeny o cca  $2 \text{ dB}$ , sudé

o cca 3 dB (výjimkou je šestá harmonická s úrovní  $L_{1g} = -56$  dB a  $L_1 = -62$  dB), žádný další významnější vliv přizpůsobovacích členů není patrný. Všechny frekvence na OBR. 6.7 a OBR. 6.8 v pásmu hodnot úrovní od -49 do -67 dB lze považovat za šum signálu generátoru.



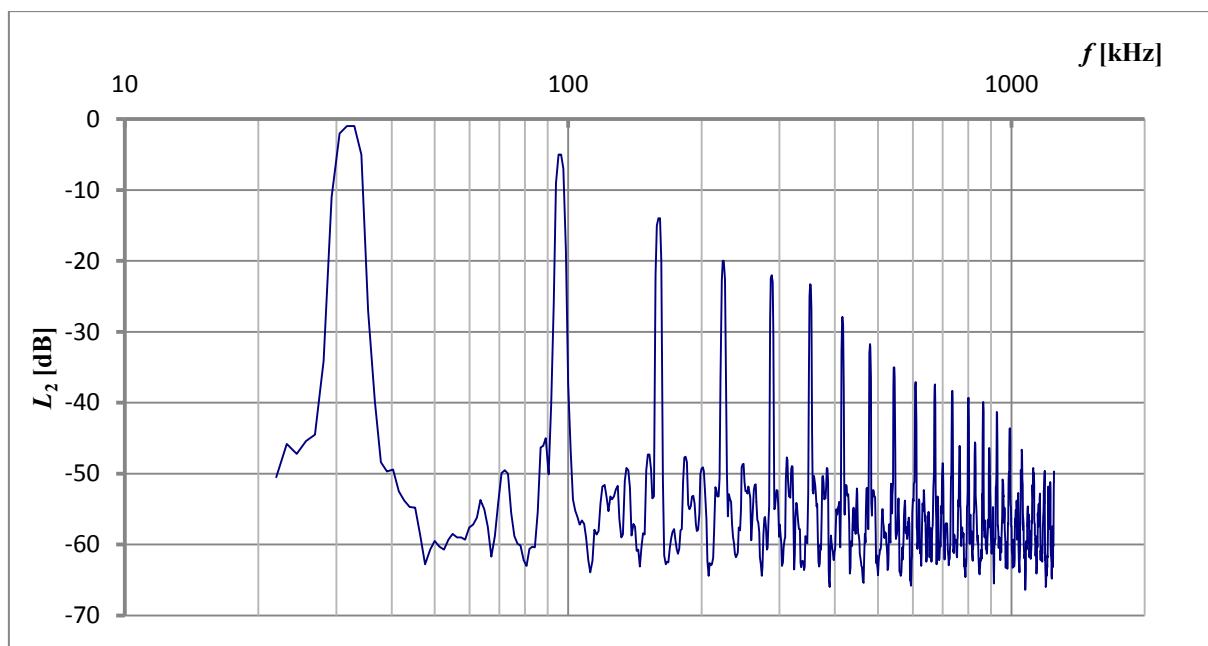
OBR. 6.7 - Spektrum impulsního signálu z generátoru, přenosová rychlost  $64 \text{ kbit.s}^{-1}$



OBR. 6.8 - Spektrum impulsního vstupního signálu, přenosová rychlost  $64 \text{ kbit.s}^{-1}$

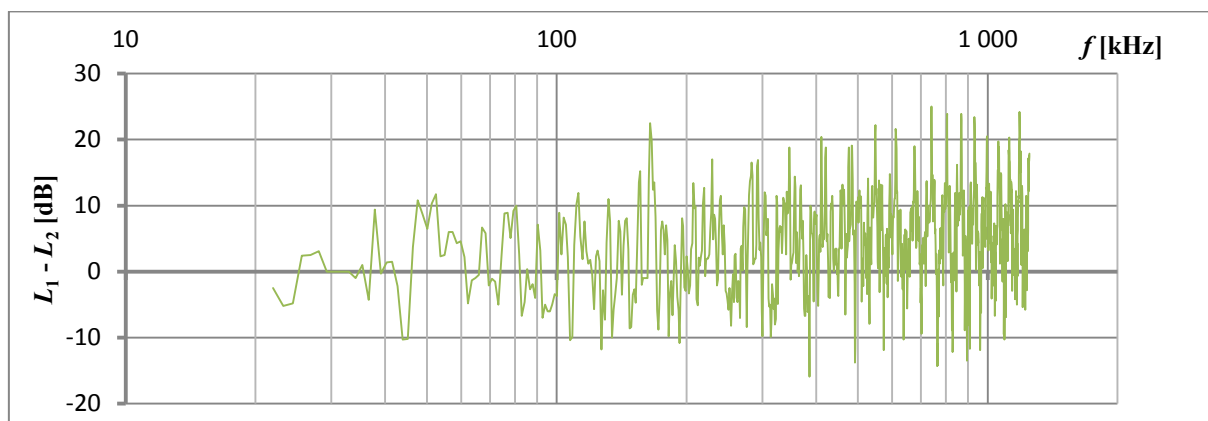
Na OBR. 6.9 jsou vidět ve spektru signálu měřeného na konci nerušeného vedení zesílené frekvence třetí a páté harmonické a za další významné frekvence lze ve spektru považovat frekvence 764 kHz,

827 kHz a 891 kHz. Vyšší liché harmonické jsou utlumené, a to tím víc, čím je vyšší jejich frekvence. Úrovně šumu jsou v pásmu hodnot úrovní od -48 do -66 dB.



**OBR. 6.9 - Spektrum impulsního signálu na konci nerušeného vedení, přenosová rychlost 64 kbit.s<sup>-1</sup>**

Vliv okolí jako rozdíl vstupní a výstupní úrovně je na OBR. 6.10. Signál ve spektru je tlumen, přičemž průměrný útlum (z přímkové spojnice trendů) roste s rostoucí frekvencí z hodnoty 2 dB na hodnotu 8 dB. Tento průběh je pro další měření uvažován jako konstantní, je nazýván systematickou chybou měření a bude akceptován při identifikaci zdrojů rušení.



**OBR. 6.10 - Rozdíl vstupní a výstupní úrovně při přenosové rychlosti signálu 64 kbit.s<sup>-1</sup>**

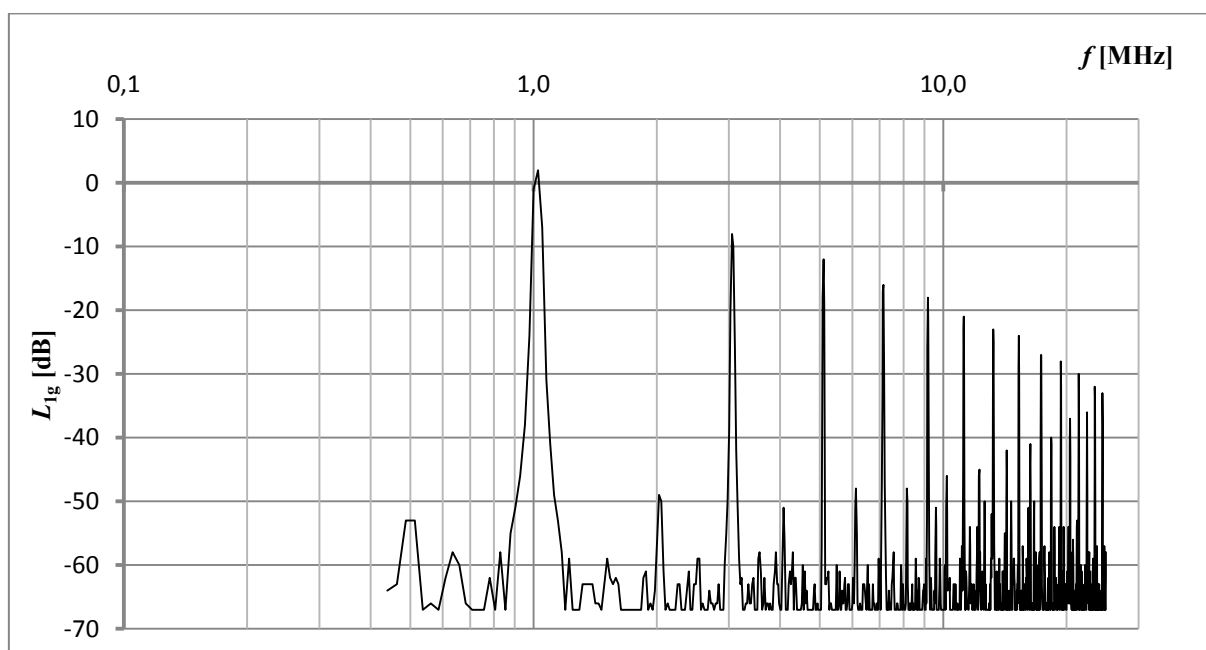


### 6.1.4 Měření při impulsním signálu s přenosovou rychlostí $2\,048\text{ kbit.s}^{-1}$

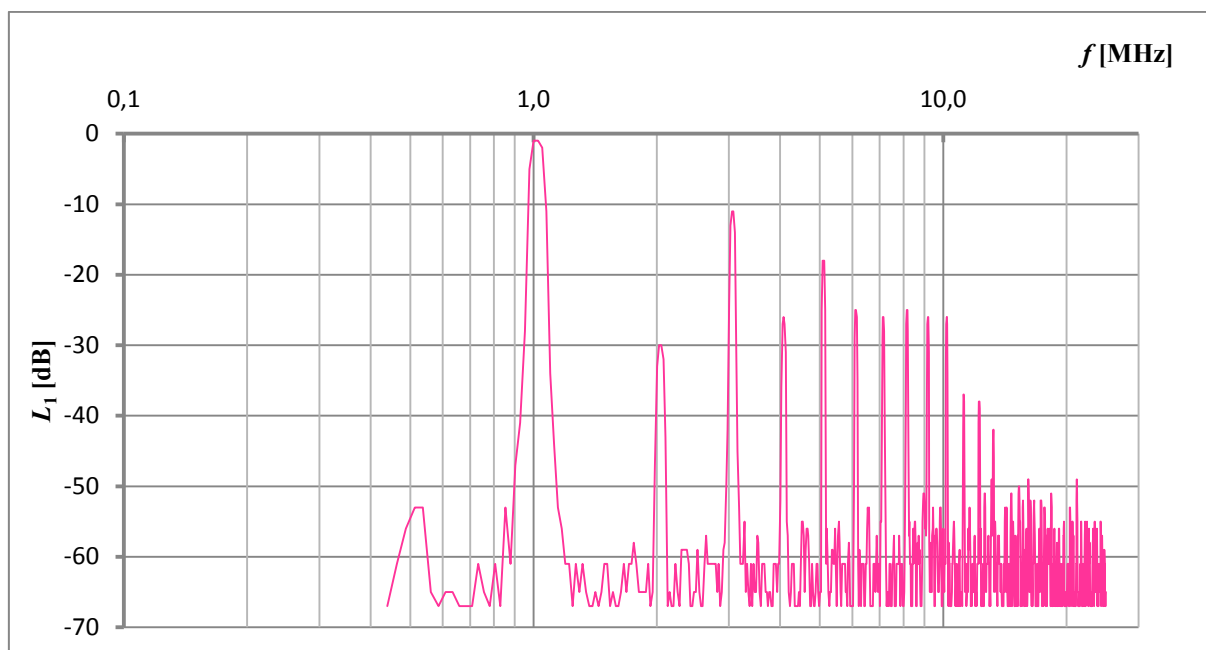
Měření, zařazená do této kapitoly, se uskutečnila způsobem popsaným v podkapitole 6.1.3, pouze na generátoru byla nastavena frekvence  $1,0204\text{ MHz}$  ( $f = 1/T_0 = 1/0,98 \cdot 10^{-6} = 1,0204 \cdot 10^6\text{ Hz}$ , kde  $T_0 = 2 \cdot T/N = 0,98 \cdot 10^{-6}\text{ s}$ , počet bitů je  $N = v \cdot T = 2,048 \cdot 10^6 \cdot 125 \cdot 10^{-6} = 256$ ,  $v$  je přenosová rychlost  $2\,048\text{ kbit.s}^{-1}$  a  $T$  je základní časový interval rámce). Spektrum signálu z generátoru, viz OBR. 6.11, obsahuje kromě základní frekvence i odpovídající liché harmonické s klesající amplitudou -  $3,06\text{ MHz}$ ,  $5,10\text{ kHz}$ ,  $7,14\text{ kHz}$  atd. Spektrum principiálně odpovídá průběhu teoretickému, avšak útlum harmonických složek nemá hyperbolický charakter. Kromě toho obsahuje spektrum i sudé harmonické, jejichž úroveň s rostoucí frekvencí roste. Tyto skutečnosti jsou dány typem použitého generátoru a odpovídají kvalitě generovaného obdélníku při vysoké frekvenci.

Spektrum vstupního signálu měřené za přizpůsobovacími členy je uvedeno na obr. OBR. 6.12. Liché harmonické jsou za přizpůsobovacími členy utlumeny tím víc, čím je vyšší frekvence těchto harmonických. Sudé harmonické jsou naopak výrazně zesíleny, cca o 20 až 25 dB. V průměru jsou frekvence vstupního signálu vlivem přizpůsobovacích členů zesíleny, přičemž zesílení směrem k vyšším frekvencím klesá (z průměrné hodnoty  $-5\text{ dB}$  k nule – vyplývá z přímkové spojnice trendů frekvenčního spektra  $L_{1g} - L_1$ ).

Všechny frekvence vstupního signálu odpovídající úrovní  $-49\text{ dB}$  a nižším lze považovat za šum signálu generátoru. Úrovně šumu jsou v pásmu hodnot od  $-49$  do  $-67\text{ dB}$ .

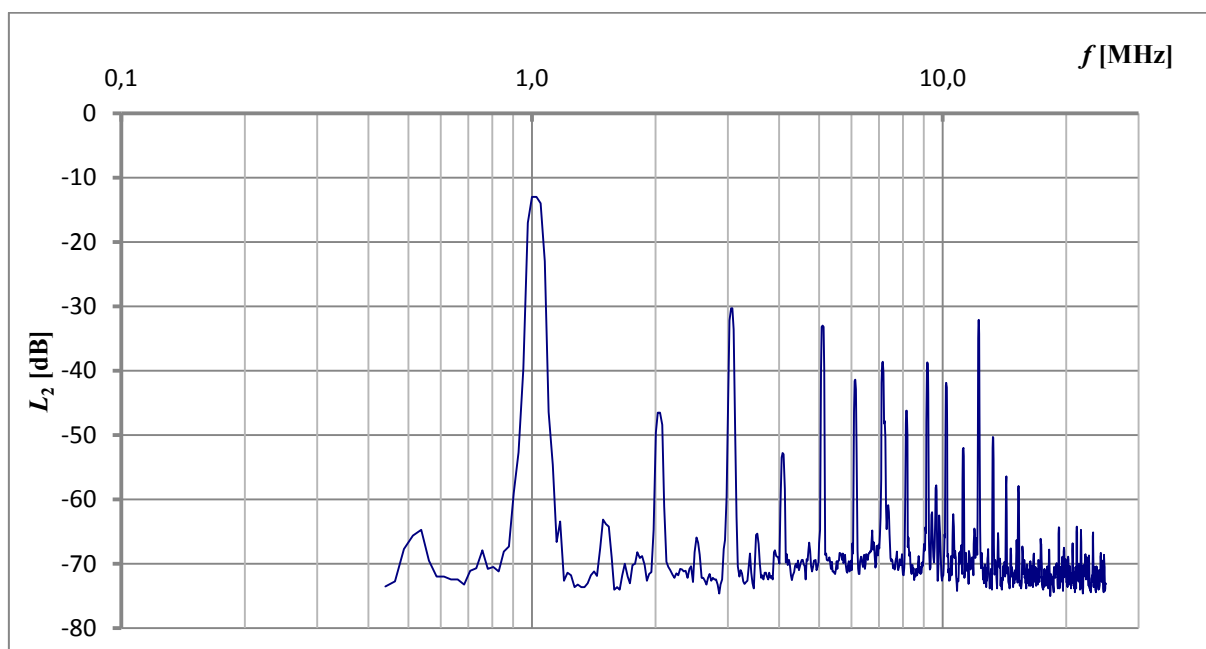


OBR. 6.11 - Spektrum impulsního signálu z generátoru, přenosová rychlost  $2\,048\text{ kbit.s}^{-1}$



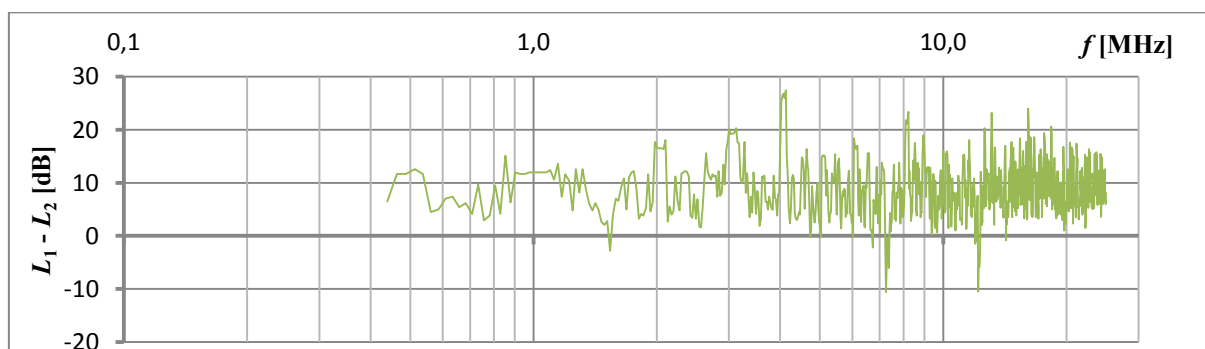
**OBR. 6.12 - Spektrum impulsního vstupního signálu, přenosová rychlost 2048 kbit.s<sup>-1</sup>**

Frekvenční spektrum při připojení vedení je na OBR. 6.13. Základní harmonická je nižší o 12 dB, výrazně jsou utlumeny také všechny vyšší harmonické ve spektru. Ve spektru jsou dvě významné frekvence 7 250 kHz a 9 630 kHz. Úrovně hodnot šumu jsou utlumeny do pásma od -61 do -75 dB.



**OBR. 6.13 - Spektrum impulsního signálu na konci nerušeného vedení, přenosová rychlost 2 048 kbit.s<sup>-1</sup>**

Vliv okolí jako rozdíl vstupní a výstupní úrovně je na OBR. 6.14. Ve spektru je patrný průměrný útlum o cca 8 dB. Výjimkou jsou frekvence 1,54 MHz, 6,72 MHz a 7,25 MHz (12. harmonická), které jsou zesíleny. Tento průběh je pro další měření uvažován jako konstantní, je nazýván systematickou chybou měření a bude akceptován při identifikaci zdrojů rušení.



**OBR. 6.14 - Rozdíl vstupní a výstupní úrovně při přenosové rychlosti signálu 2 048 kbit.s<sup>-1</sup>**

Způsob využití spektrálního obrazu při hodnocení vlivu rušení vedení zajišťuje eliminování uvedených negativních skutečností a na závěrech se proto neprojeví. Rozhodující je, že průběh uvedený na OBR. 6.13 vstupuje do hodnocení vlivu rušení jako reálný signál, tj. ideální signál zatížený systematickou chybou.

## 6.2 Měření na rušeném účastnickém vedení

Na základě orientačních měření, publikovaných v (PETŘÍKOVÁ, 2010), lze konstatovat, že každý zdroj rušení je charakteristický svými frekvencemi. Jestliže tento zdroj působí na účastnické vedení, je výstupní signál vedení v časové oblasti dán superpozicí dvou signálů, a to signálu do vedení vstupujícího a signálu rušícího. Změřený průběh signálu na výstupu vedení logicky tedy zahrnuje základní signál a signál rušící. Pokud je známý průběh signálu do vedení vstupujícího a průběh signálu z vedení vystupujícího, lze vypočítat jejich rozdíl. Výsledek potom odpovídá složce signálu úměrné přenosovým parametrům vedení a složce rušícího signálu.

Řešení celého problému ve spektrální oblasti umožňuje identifikovat a oddělit od sebe jednotlivé signály podle vztahu

$$F_r(\omega) = F_{\text{výst}}(\omega) - F_{\text{vst}}(\omega)$$

kde  $F_r(\omega)$  představuje spektrum rušícího signálu,  $F_{\text{výst}}(\omega)$  představuje spektrum výstupního signálu a  $F_{\text{vst}}(\omega)$  představuje spektrum vstupního signálu. Spektra jsou uvedena a popsána v kap. 6.1 a při stanovení charakteristických frekvencí je s nimi počítáno.

Za rozhodující přenosové parametry vedení lze uvažovat měrný útlum a měrný fázový posuv. Při posuzování spekter signálů se měrný útlum projeví nižší amplitudou frekvencí výstupního signálu v porovnání se vstupním signálem, avšak měrný fázový posuv nelze z těchto průběhů stanovit. Pro identifikaci zdroje rušení jsou však rozhodující charakteristické frekvence zdroje a znalost hodnoty měrného fázového posuvu k tomu není potřebná.

Hodnocení všech typických zdrojů rušení je provedeno vzhledem k výstupnímu signálu nerušeného a rušeného vedení podle vztahu

$$F_{\text{zr}}(\omega) = F_{\text{výst}}(\omega) - F_{\text{výstr}}(\omega)$$

kde  $F_{\text{zr}}(\omega)$  je spektrum zdroje rušení,  $F_{\text{výst}}(\omega)$  je spektrum výstupního signálu a  $F_{\text{výstr}}(\omega)$  je spektrum výstupního signálu při rušeném vedení. Úrovně rušeného vedení jsou potom vztaženy k úrovním výstupního signálu nerušeného vedení.

Při realizaci všech měření je nutné akceptovat různé vstupní signály a potřebné frekvenční pásma k jejich přenosu. Pro přenos analogových hovorových signálů postačuje teoreticky přenášet maximální frekvenci 3 400 Hz, pro impulsní signál s přenosovou rychlostí 64 kbit.s<sup>-1</sup> teoreticky postačuje frekvenční pásmo do 100 kHz a pro impulsní signál s přenosovou rychlostí 2 048 kbit.s<sup>-1</sup> je to 2 100 kHz. Použitý osciloskop však pro výpočet Fourierovy transformace vyžaduje několik period měřeného signálu, a proto bylo pro jednotlivé signály stanoveno následující frekvenční omezení:

- Frekvenční pásmo pro analogový signál vychází ze zajištění přenosu maximální frekvence hovorového kanálu 3 400 Hz a pro měření bylo omezení stanoveno na 5 kHz.
- Impulsní signál s přenosovou rychlostí 64 kbit.s<sup>-1</sup> byl frekvenčně omezen na 1 200 kHz, což odpovídá cca desetinásobku požadované frekvence.
- Impulsní signál s přenosovou rychlostí 2 048 kbit.s<sup>-1</sup> byl frekvenčně omezen na 25 MHz, což odpovídá opět cca desetinásobku požadované frekvence.

Z uvedených důvodů mají frekvenční osy různá měřítka, což však není na závadu, neboť na sebe v podstatě navazují a určité frekvenční pásmo zobrazují podrobněji.

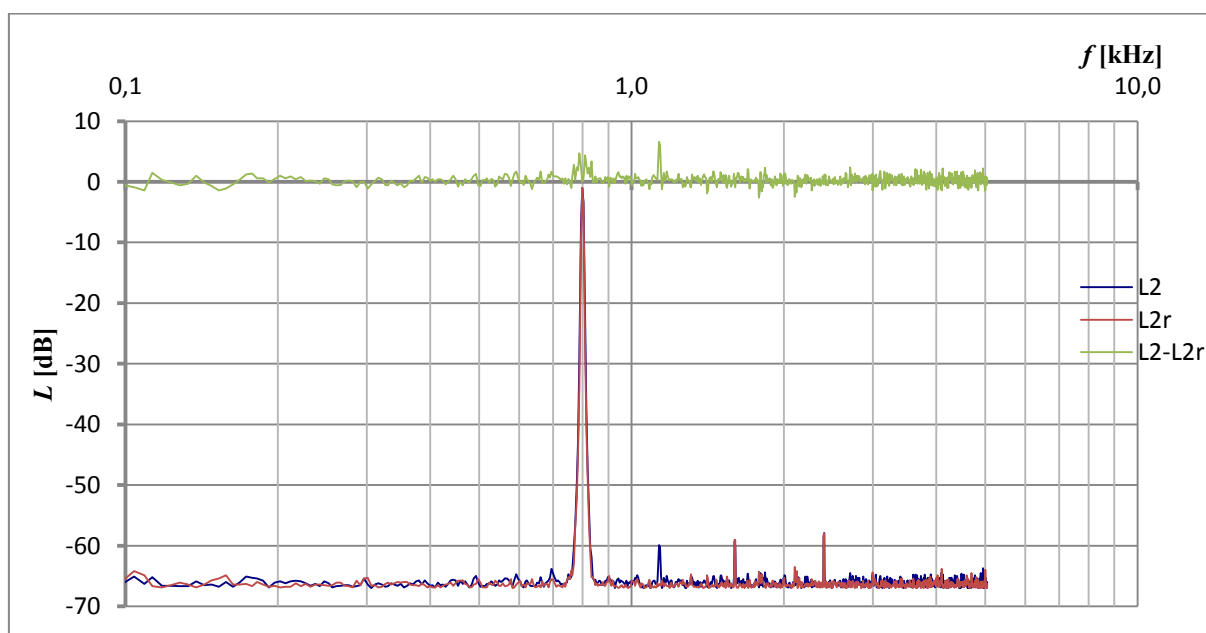
### 6.2.1 Určení charakteristických frekvencí mikrovlnné trouby

Mikrovlnná trouba byla vybrána jako jeden z možných zdrojů širokopásmového rušení. Při měření byla umístěna v blízkosti vedení a byla zapnuta po celou dobu měření. Naměřené průběhy

z osciloskopu jsou uvedeny v Příloze 2 a z nich zpracované průběhy při různých vstupních signálech jsou ve spektrální oblasti uvedeny na OBR. 6.15, OBR. 6.16 a OBR. 6.17.

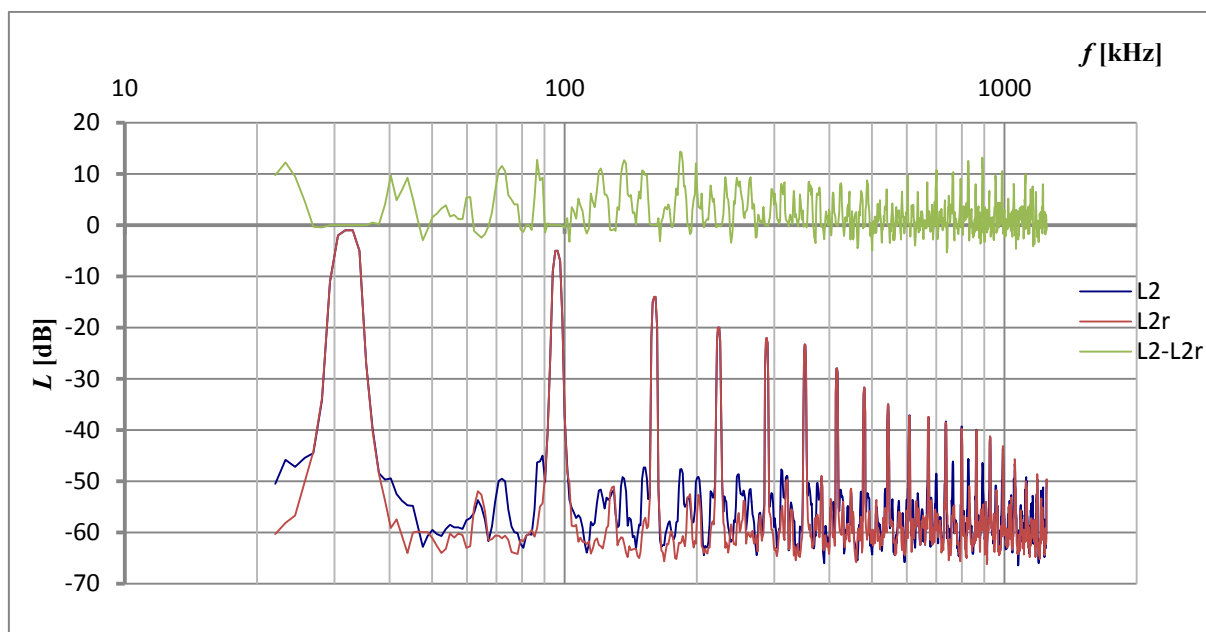
Z naměřených hodnot úrovní  $L_{2r}$  ve frekvenčním pásmu od 0 do 5 kHz, viz OBR. 6.15, vyplývá, že se rušení neprojevuje a lze jej v podstatě zanedbat. Významná frekvence 1 134 Hz ze spektra nerušeného signálu je při rušeném vedení utlumena o cca 7 dB. Protože se tato skutečnost objevuje u všech průběhů měřených při rušení a frekvence neodpovídá žádné harmonické, lze si její přítomnost vysvětlovat rušením okolního prostředí při měření výstupních průběhů signálu na nerušeném vedení, které se při měřeních na rušených vedeních již neprojevovalo. Může to být způsobeno časovým posunem porovnávaných měření a tedy vlivem náhodného rušení vedení okolním prostředím. Tento závěr dokazují i jednotlivá měření uvedená v příloze 1. Další dvě významné frekvence (2. a 3. harmonickou) ze spektra nerušeného signálu rušení neovlivnilo a frekvence zůstávají se stejnou hodnotou úrovně signálu i ve frekvenčním spektru rušeného signálu.

Rozdíl výstupních úrovní signálů na nerušeném a rušeném vedení  $L_2 - L_{2r}$  je v pásmu hodnot od -2 dB do +2 dB.



**OBR. 6.15 - Spektrum výstupního analogového signálu rušeného mikrovlnnou troubou**

Rušení ve frekvenčním pásmu do 1 200 kHz má charakter bílého šumu bez jakýchkoliv dalších významných frekvencí, viz OBR. 6.16. Rušení nemělo vliv na hodnotu úrovně základní frekvence a neovlivnilo ani hodnotu úrovně lichých harmonických. Úrovně všech dalších frekvencí ve spektru, včetně významných frekvencí 764 kHz, 827 kHz a 891 kHz, které se objevovaly ve spektru na nerušeném vedení, jsou převážně utlumeny.



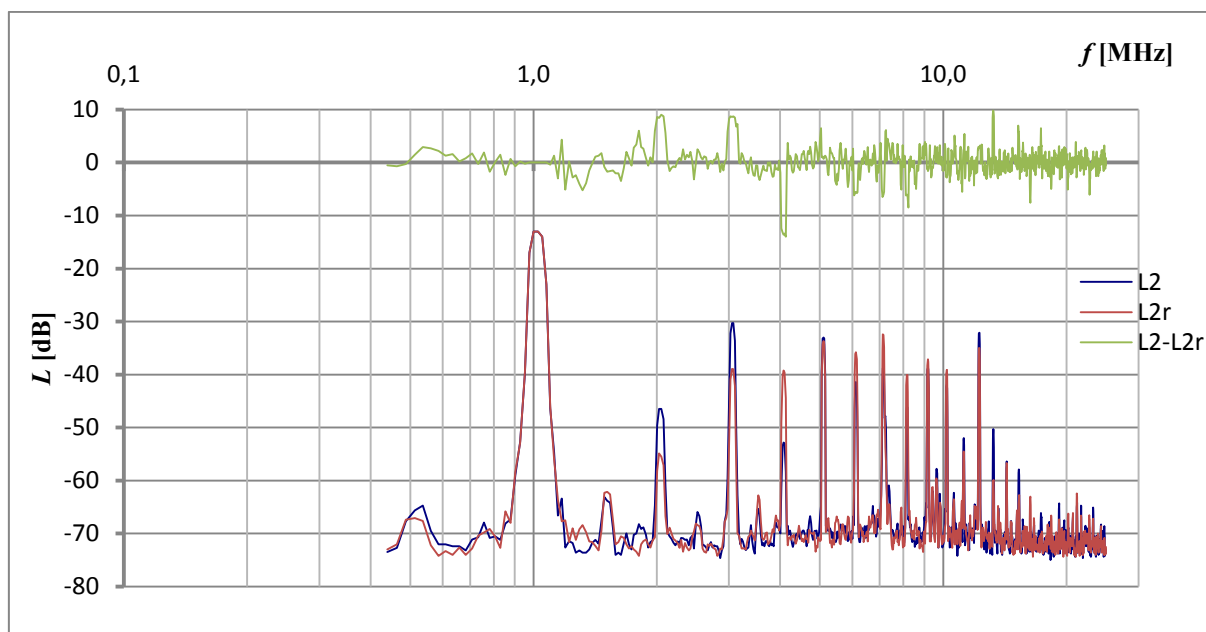
**OBR. 6.16 - Spektrum výstupního impulsního signálu o přenosové rychlosti  $64 \text{ kbit.s}^{-1}$  rušeného mikrovlnnou troubou**

Rozdíl výstupních úrovní signálů na nerušeném a rušeném vedení je dle OBR. 6.16 v pásmu hodnot od -5 dB do +15 dB. Při proložení průběhu lineární spojnicí trendů klesá útlum z hodnoty 3 dB na hodnotu 1 dB směrem od nižších frekvencí k vyšším.

Rušení ve frekvenčním pásmu do 25 MHz, viz OBR. 6.17, má také charakter bílého šumu. Ve spektru je tlumená 2. a 3. harmonická, zesílena je 4., 6., 7., 8. a 9. Významná frekvence 9 630 kHz ze spektra nerušeného signálu se vyskytuje i ve spektru rušeného signálu.

Rozdíl výstupních úrovní signálů na nerušeném a rušeném vedení je nejčastěji v pásmu hodnot od -5 dB do +5 dB.

Závěr: tento zdroj rušení generuje rušící signál ve frekvenčním pásmu 20 kHz až 25 MHz a má charakter bílého šumu. Rušení se projevuje útlumem všech frekvencí ve spektru signálu s přenosovou rychlostí  $64 \text{ kbit.s}^{-1}$ . Ve spektru signálu s přenosovou rychlostí  $2048 \text{ kbit.s}^{-1}$  jsou výrazněji utlumeny frekvence 2 MHz, 3 MHz a 13,2 MHz, zesíleny jsou frekvence 4 MHz, 8,2 MHz a 16,3 MHz. Z předchozích obrázků (OBR. 6.15, OBR. 6.16, OBR. 6.17) vyplývá, že základní frekvence ve spektrech ovlivněna nebyla a úroveň šumu rušených signálů na konci vedení jsou ve stejném pásmu hodnot jako u odpovídajících nerušených vedení.



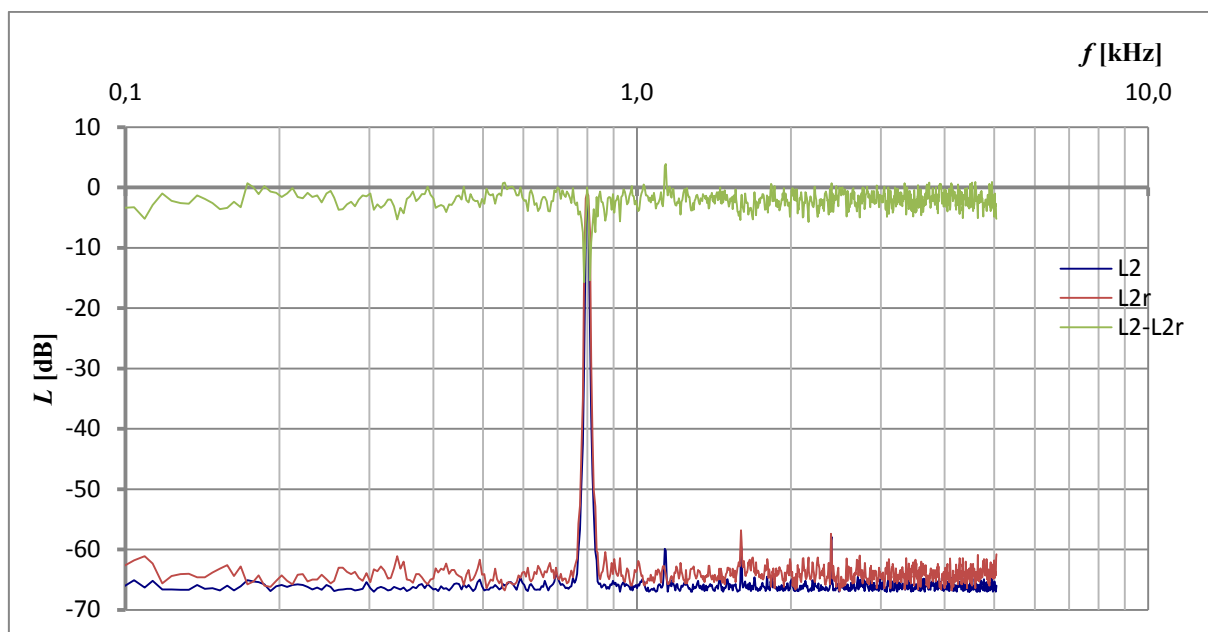
**OBR. 6.17 - Spektrum výstupního impulsního signálu o přenosové rychlosti  $2\,048\text{ kbit.s}^{-1}$  rušeného mikrovlnnou troubou**

### 6.2.2 Určení charakteristických frekvencí elektrické příklepové vrtačky

Elektrická příklepová vrtačka byla vybrána jako jeden z často používaných domácích nástrojů, a tím i jako možný zdroj rušení. Při všech měřeních byla umístěna v blízkosti vedení a byla zapnuta po celou dobu měření. Všechny naměřené průběhy jsou uvedeny v Příloze 3 a zpracované průběhy při různých vstupních signálech jsou ve spektrální oblasti uvedeny na OBR. 6.18, OBR. 6.19 a OBR. 6.20.

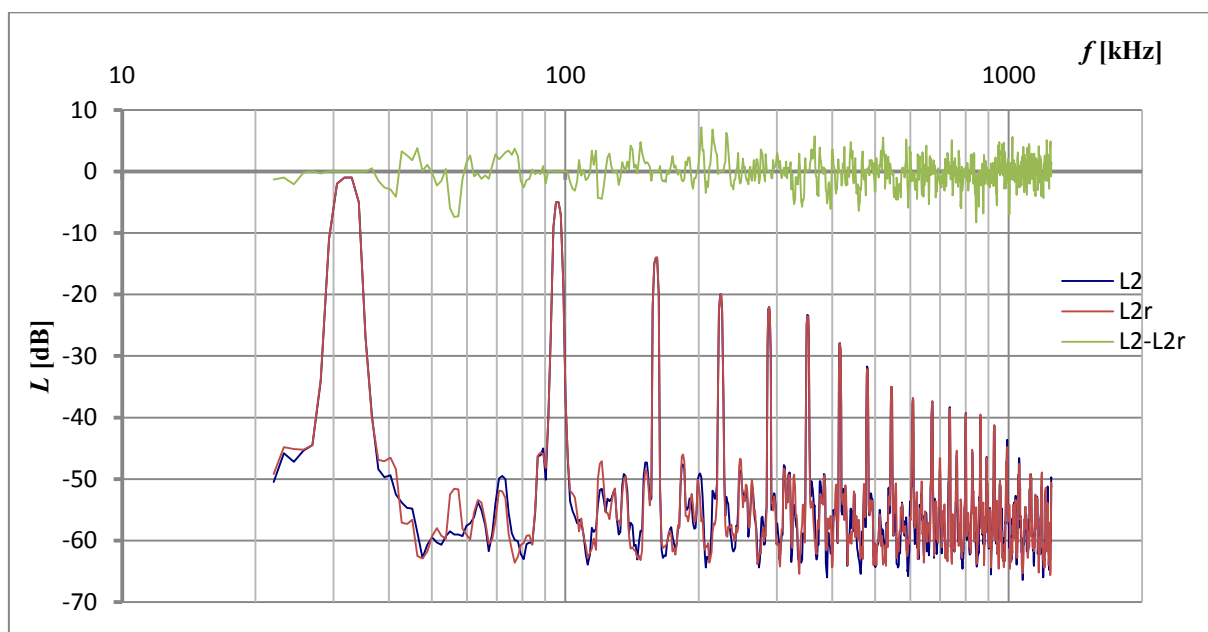
Rušící signál má ve frekvenčním pásmu do 5 kHz charakter bílého šumu, viz OBR. 6.18. Šum rušeného signálu se pohybuje v pásmu hodnot úrovní od -66 dB do -62 dB. Toto pásmo je tedy širší a s hodnotami úrovní o cca 2 dB vyššími než u nerušeného signálu. Významná frekvence 1 134 Hz ze spektra nerušeného signálu byla potlačena na úroveň šumu. Ostatní významné frekvence rušení ovlivnilo stejně jako většinu ostatních frekvencí ve spektru, tj. zesílením úrovně signálu o cca 2 dB. Za nové významné frekvence ve spektru rušeného signálu lze považovat frekvence 789 Hz a 809 Hz, které jsou zesíleny o cca 15 dB.

Rozdíl výstupních úrovní signálů na nerušeném a rušeném vedení je v pásmu hodnot od -5 dB do 0 dB. Při proložení průběhu lineární spojnici trendů je patrné průměrné zesílení úrovní všech frekvencí ve spektru o 2 dB.



**OBR. 6.18 - Spektrum výstupního analogového signálu rušeného elektrickou příklepovou vrtačkou**

Ve frekvenčním pásmu do 1 200 kHz má rušící signál dle obr. OBR. 6.19 stále charakter bílého šumu. Rušení nemělo vliv na úroveň základní frekvence ani úroveň lichých harmonických. Významné frekvence 764 kHz, 827 kHz a 891 kHz, které se objevovaly na nerušeném vedení, se vyskytují téměř s totožnou hodnotou úrovně i ve spektru rušeného signálu.



**OBR. 6.19 - Spektrum výstupního impulsního signálu o přenosové rychlosti 64 kbit.s<sup>-1</sup> rušeného elektrickou příklepovou vrtačkou**

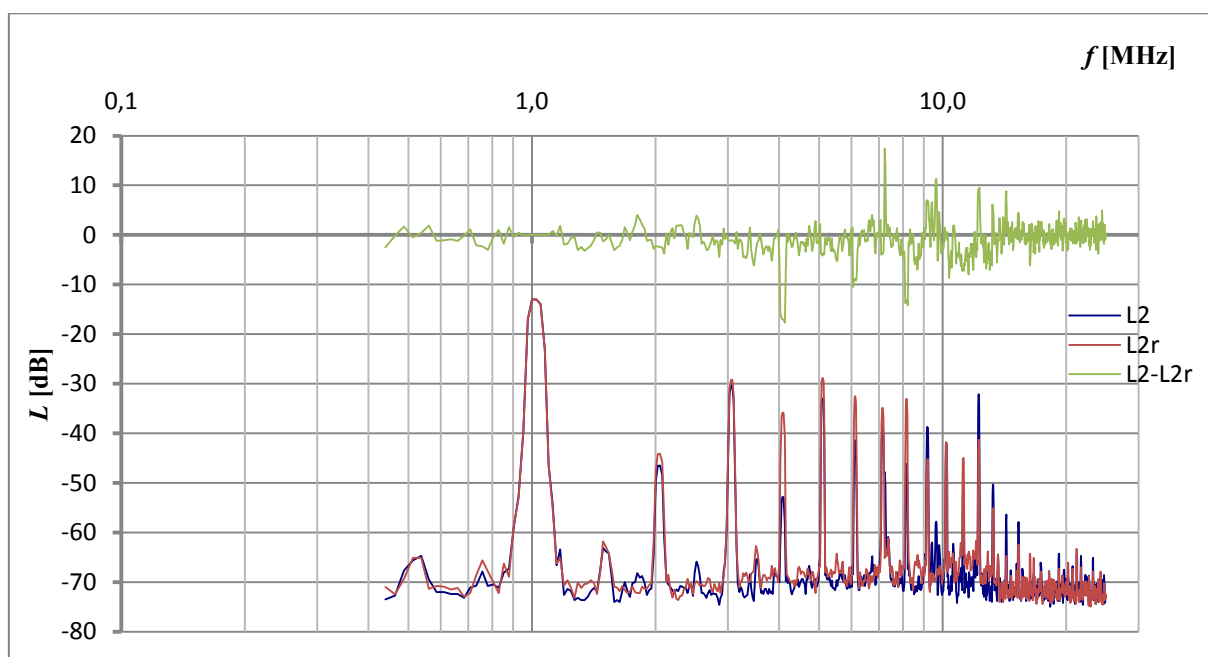


Do hodnot úrovní těchto významných frekvencí byly dále ve spektru rušeného signálu zesíleny frekvence 87 kHz, 183 kHz a 248 kHz.

Rozdíl výstupních úrovní signálů na nerušeném a rušeném vedení je nejčastěji v pásmu hodnot od -6 dB do +6 dB.

Podle OBR. 6.20 způsobil rušící signál v pásmu do 12 MHz zesílení úrovní vyšších harmonických, (nejvíce čtvrté, šesté a osmé), pouze devátá harmonická byla utlumena. V pásmu nad 12 MHz byly vyšší harmonické signálu tlumené. Ostatní úrovně frekvencí ve spektru 1 až 25 MHz byly zesíleny o cca 1 dB. Významné frekvence ze spektra nerušeného signálu 7 250 kHz a 9 630 kHz byly potlačeny do hodnot úrovní šumu.

Rozdíl výstupních úrovní signálů na nerušeném a rušeném vedení je v pásmu hodnot od -17 dB do +17 dB. Z lineární spojnice trendů tohoto průběhu je zřejmé zesílení úrovně frekvencí ve spektru, které klesá z hodnoty -2 dB k nule směrem od nižších frekvencí k vyšším.



**OBR. 6.20 - Spektrum výstupního impulsního signálu o přenosové rychlosti  $2\,048\text{ kbit}\cdot\text{s}^{-1}$  rušeného elektrickou přiklepovou vrtačkou**

Závěr: tento zdroj rušení má širokopásmový charakter a nejvíce se projevuje v pásmu do 5 kHz, kde má rušící signál charakter bílého šumu o úrovni cca -2 dB a za významné frekvence lze považovat frekvence 789 a 809 Hz. Také ve spektru impulsního signálu o přenosové rychlosti  $2\,048\text{ kbit}\cdot\text{s}^{-1}$  je patrný vliv rušení zejména zesílením úrovní vyšších harmonických. Z obrázků (OBR. 6.18, OBR. 6.19 a OBR. 6.20) vyplývá, že základní frekvence ve spektrech ovlivněna nebyla a úrovně šumu rušených

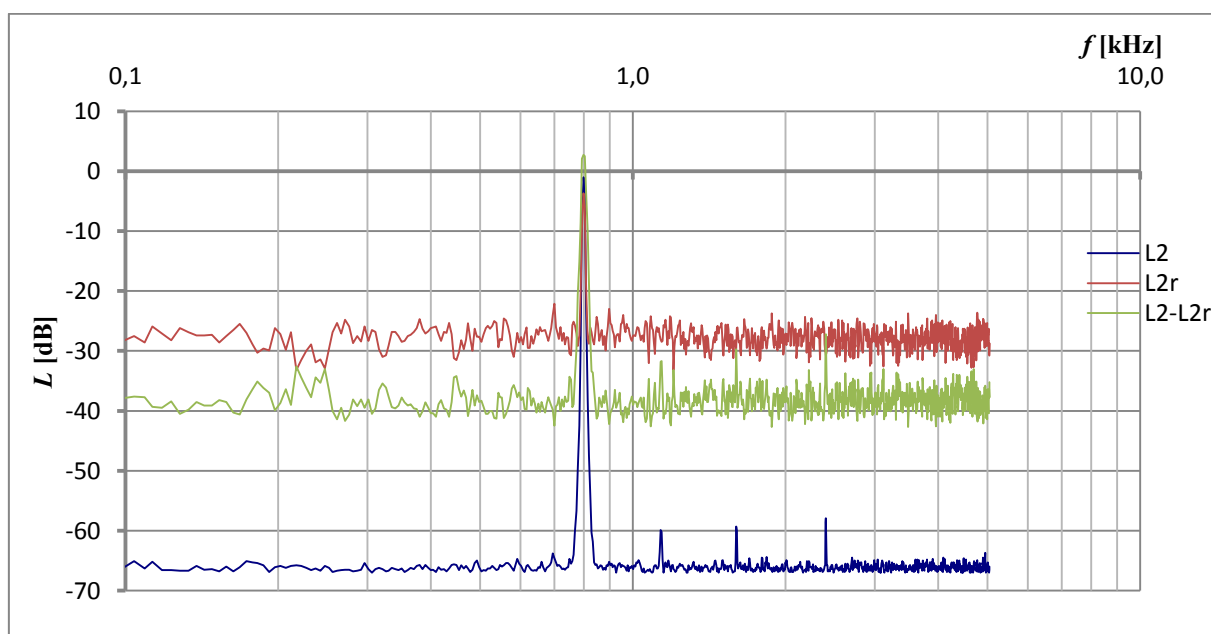
impulsních signálů na konci vedení jsou ve stejném pásmu hodnot jako u odpovídajících nerušených vedení.

### 6.2.3 Určení charakteristických frekvencí elektrického ručního mixeru

Elektrický ruční mixer patří mezi často využívané elektrické spotřebiče. Byl zvolen jako charakteristický spotřebič s elektromotorkem napájeným ze sítě 230 V a jako možný potenciální zdroj rušení. Při všech měřeních byl umístěn v blízkosti vedení a byl zapnut po celou dobu měření. Všechny naměřené průběhy jsou uvedeny v Příloze 4 a zpracované průběhy při různých vstupních signálech jsou ve spektrální oblasti uvedeny na OBR. 6.21, OBR. 6.22 a OBR. 6.23.

Ve frekvenčním pásmu do 5 kHz má rušící signál charakter bílého šumu, viz OBR. 6.21. Šum rušeného signálu se pohybuje v pásmu hodnot úrovní od -33 dB do -24 dB. Toto pásmo je širší a s výrazně vyššími hodnotami úrovní než byly úrovně šumu u nerušeného signálu. Významné frekvence ze spektra nerušeného signálu jsou v pásmu hodnot úrovní šumu a žádné další nové významné frekvence se ve spektru rušeného signálu neobjevily.

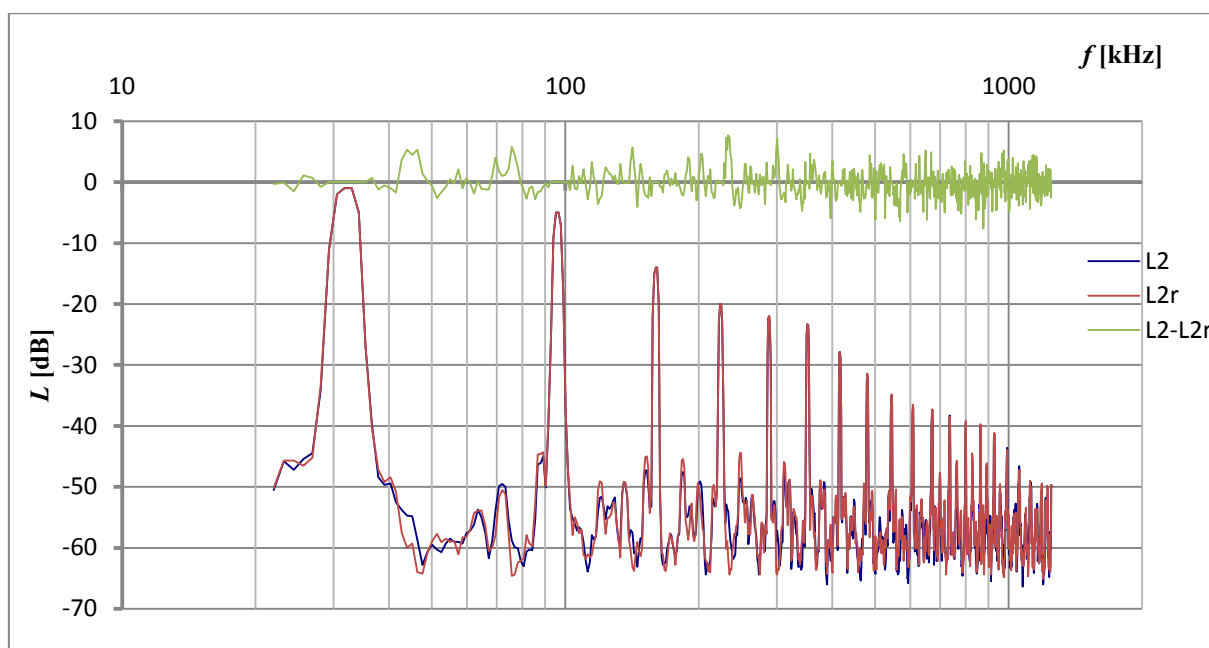
Rozdíl výstupních úrovní signálů na nerušeném a rušeném vedení je nejčastěji v pásmu hodnot od -43 dB do -33 dB. Při proložení průběhu lineární spojnicí trendů má úroveň rušeného signálu v tomto frekvenčním pásmu hodnotu -38 dB, což odpovídá průměrnému zesílení úrovní všech frekvencí ve spektru o 38 dB. Základní frekvence rušeného signálu má o 3 dB nižší úroveň než u nerušeného vedení.



OBR. 6.21 - Spektrum výstupního analogového signálu rušeného ručním mixerem

Ve frekvenčním pásmu do 1 200 kHz má rušící signál dle obr. OBR. 6.22 stále charakter bílého šumu. Rušení nemělo vliv na úroveň základní frekvence, na úrovně lichých harmonických, ani na významné frekvence 764 kHz, 827 kHz a 891 kHz, které se objevovaly na nerušeném vedení. Do hodnot úrovní těchto významných frekvencí však byly ve spektru rušeného signálu zesíleny další frekvence - 87 kHz, 151 kHz, 183 kHz, 248 kHz a 312 kHz.

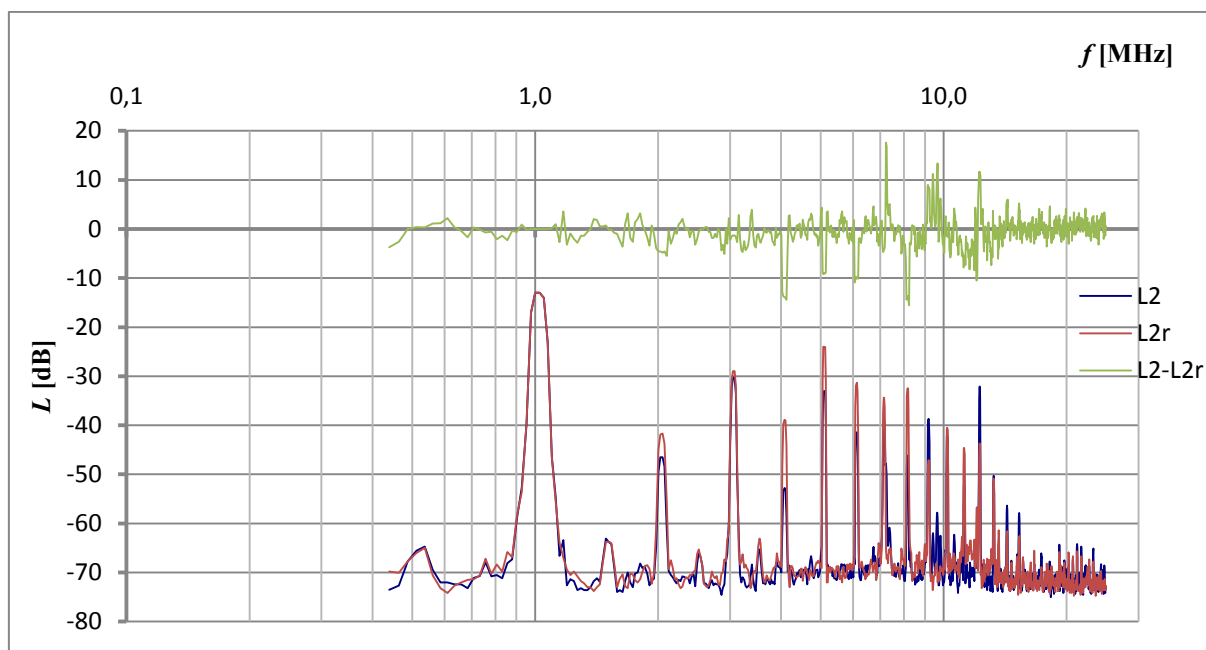
Rozdíl výstupních úrovní signálů na nerušeném a rušeném vedení je nejčastěji v pásmu hodnot od -6 dB do +6 dB.



**OBR. 6.22 - Spektrum výstupního impulsního signálu o přenosové rychlosti 64 kbit.s<sup>-1</sup> rušeného ručním mixerem**

Podle OBR. 6.23 způsobil rušící signál v pásmu do 12 MHz zesílení úrovní vyšších harmonických, (nejvíce čtvrté, šesté a osmé), pouze devátá harmonická byla utlumena. V pásmu nad 12 MHz byly vyšší harmonické signálu tlumené. Významné frekvence ze spektra nerušeného signálu 7 250 kHz a 9 630 kHz byly potlačeny do hodnot úrovní šumu.

Rozdíl výstupních úrovní signálů na nerušeném a rušeném vedení je v pásmu hodnot od -15 dB do +17 dB. Z lineární spojnice trendů tohoto průběhu je zřejmé průměrné zesílení úrovní frekvencí ve spektru do 9 MHz, a to o 1,5 dB pro nejnižší frekvence v tomto pásmu až k nule pro frekvence nejvyšší. Úrovně frekvencí nad 9 MHz jsou nepatrně utlumeny.



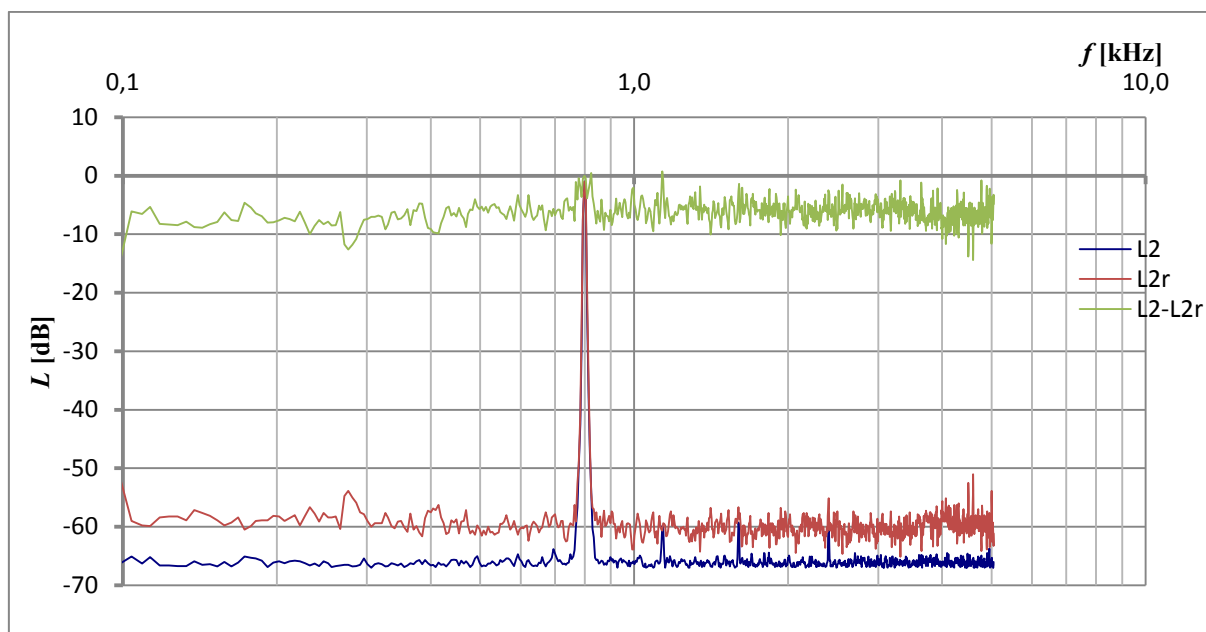
**OBR. 6.23 - Spektrum výstupního impulsního signálu o přenosové rychlosti 2 048 kbit.s<sup>-1</sup> rušeného ručním mixerm**

Závěr: tento zdroj rušení má širokopásmový charakter. V pásmu do 5 kHz má rušící signál charakter bílého šumu o úrovni cca -38 dB; základní frekvence je utlumena o 3 dB. Ve spektru impulsního signálu o přenosové rychlosti 64 kbit.s<sup>-1</sup> se objevily další významné frekvence. Ve spektru impulsního signálu o přenosové rychlosti 2 048 kbit.s<sup>-1</sup> je patrný vliv rušení zejména zesílením úrovní vyšších harmonických. Z obrázků vyplývá, že základní frekvence impulsních signálů ve spektrech ovlivněna nebyla a úrovně šumu rušených impulsních signálů na konci vedení jsou ve stejném pásmu hodnot jako u odpovídajících spekter signálů nerušených vedení.

#### 6.2.4 Určení charakteristických frekvencí vysoušeče vlasů

Vysoušeč vlasů představuje elektrický spotřebič napájený ze sítě 230 V, který převádí elektrickou energii na tepelnou a obsahuje i malý elektromotorek. Jedná se o často využívaný spotřebič v domácnostech, od kterého lze očekávat možný vliv rušení. Při všech měřeních byl umístěn v blízkosti vedení a byl zapnutý po celou dobu měření. Všechny naměřené průběhy jsou uvedeny v Příloze 5 a zpracované průběhy při různých vstupních signálech jsou ve spektrální oblasti uvedeny na OBR. 6.24, OBR. 6.25 a OBR. 6.26.

Rušící signál má ve frekvenčním pásmu do 5 kHz charakter bílého šumu, viz OBR. 6.24. Šum rušeného signálu se pohybuje v pásmu hodnot úrovní od -63 dB do -57 dB. Toto pásmo je tedy opět širší a s vyššími hodnotami úrovní než u nerušeného signálu. Rušení ovlivnilo úrovně významných frekvencí ze spektra nerušeného signálu zvýšením do úrovní hodnot šumu rušeného signálu.



**OBR. 6.24 - Spektrum výstupního analogového signálu rušeného vysoušečem vlasů**

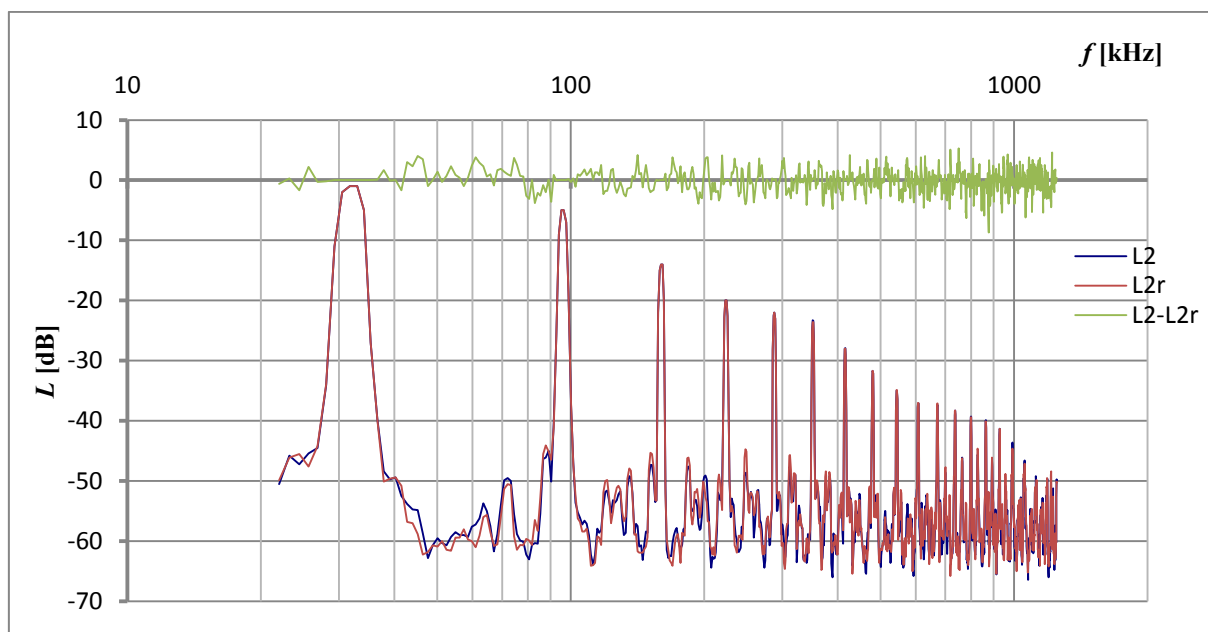
Za nové významné frekvence ve spektru rušeného signálu lze považovat frekvence 4 500 Hz a 4 600 Hz, které jsou zesíleny o cca 14 dB.

Rozdíl výstupních úrovní signálů na nerušeném a rušeném vedení je v pásmu hodnot od -12 dB do 0 dB. Při proložení průběhu lineární spojnici trendů je patrné průměrné zesílení úrovní všech frekvencí ve spektru o 6 dB. Základní frekvence je o 0,5 dB utlumena.

Ve frekvenčním pásmu do 1 200 kHz má rušící signál dle OBR. 6.25 stále charakter bílého šumu. Rušení nemělo vliv na úroveň základní frekvence, na úrovně lichých harmonických, ani na významné frekvence 764 kHz, 827 kHz a 891 kHz, které se objevovaly na nerušeném vedení. Do hodnot úrovní těchto významných frekvencí však byly ve spektru rušeného signálu zesíleny frekvence 87 kHz, 151 kHz, 183 kHz, 248 kHz, 312 kHz.

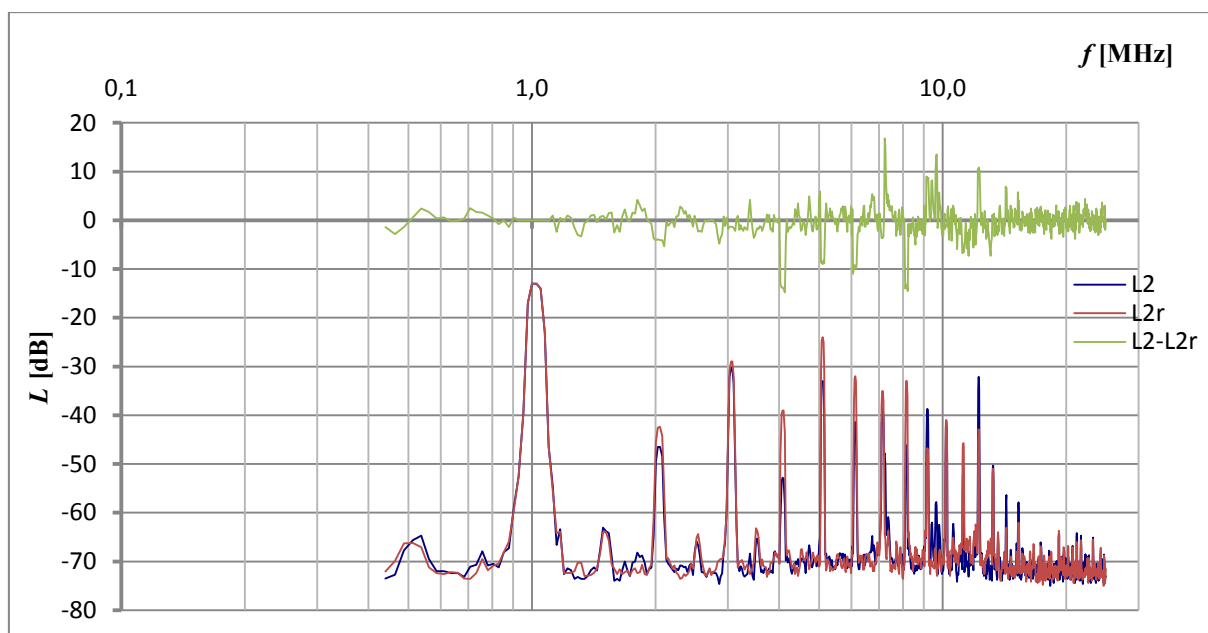
Rozdíl výstupních úrovní signálů na nerušeném a rušeném vedení je v pásmu hodnot od -6 dB do +5 dB.

Z porovnání OBR. 6.22, kde je spektrum při rušení mixérem, dále OBR. 6.25, kde je spektrum signálu při rušení vysoušečem vlasů, a z výše uvedených skutečností vyplývá, že rušící signály mají ve frekvenčním pásmu do 1 200 kHz podobný charakter. Podobnost je vidět také z OBR. 6.19, kde je spektrum signálu při rušení vrtáčkou. Na rozdíl od předchozích průběhů se však zde nevyskytují významné frekvence 151 kHz a 312 kHz.



**OBR. 6.25 - Spektrum výstupního impulsního signálu o přenosové rychlosti  $64 \text{ kbit.s}^{-1}$  rušeného vysoušečem vlasů**

Podle OBR. 6.26 způsobil rušící signál v pásmu do 12 MHz zesílení úrovní vyšších harmonických, (nejvíce čtvrté, šesté a osmé), pouze devátá harmonická byla utlumena. V pásmu nad 12 MHz byly vyšší harmonické signálu tlumené. Významné frekvence ze spektra nerušeného signálu 7 250 kHz a 9 630 kHz byly potlačeny do hodnot úrovní šumu.



**OBR. 6.26 - Spektrum výstupního impulsního signálu o přenosové rychlosti  $2\,048 \text{ kbit.s}^{-1}$  rušeného vysoušečem vlasů**

Rozdíl výstupních úrovní signálů na nerušeném a rušeném vedení je v pásmu hodnot od -15 dB do +17 dB. Z lineární spojnice trendů tohoto průběhu je zřejmé zesílení úrovní frekvencí ve spektru do 9 MHz, a to o 1,5 dB pro nejnižší frekvence v tomto pásmu až k nule pro frekvence nejvyšší. Úrovně frekvencí nad 9 MHz jsou nepatrně utlumeny. V tomto frekvenčním pásmu lze sledovat značnou podobnost mezi signály rušenými vrtačkou, mixérem a vysoušečem vlasů, viz OBR. 6.20, OBR. 6.23 a OBR. 6.26.

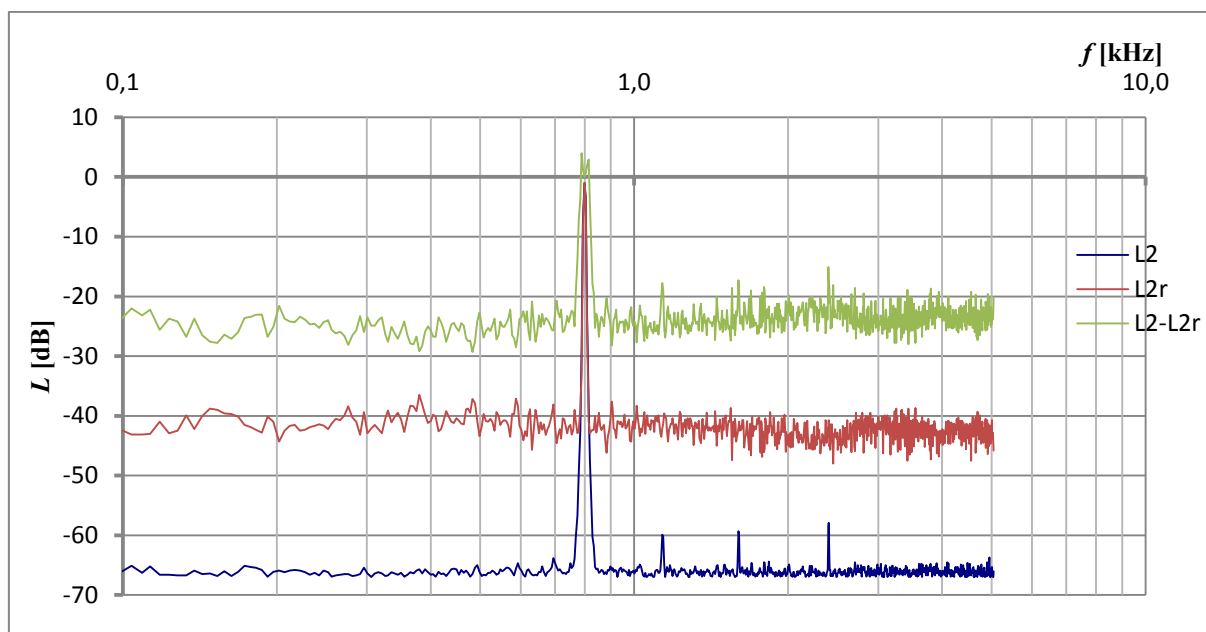
Závěr: tento zdroj rušení má širokopásmový charakter. V pásmu do 5 kHz má rušící signál charakter bílého šumu o úrovni cca -6 dB a za významnou frekvenci lze považovat frekvenci 4,5 a 4,6 kHz. Základní frekvence je utlumena o 0,5 dB. Ve spektru impulsního signálu o přenosové rychlosti 64 kbit.s<sup>-1</sup> se vyskytují další významné frekvence. Ve spektru impulsního signálu o přenosové rychlosti 2 048 kbit.s<sup>-1</sup> je patrný vliv rušení zejména zesílením úrovní vyšších harmonických. Z obrázků vyplývá, že základní frekvence impulsních signálů ve spektrech ovlivněna nebyla a úrovně šumu rušených impulsních signálů na konci vedení jsou ve stejném pásmu hodnot jako u odpovídajících spekter signálů nerušených vedení.

### 6.2.5 Určení charakteristických frekvencí obvodu s relé napájeným 15 V

Pomocí obvodu s relé napájeným stejnosměrným napětím 15 V bylo simulováno jiskření při nedokonalých kontaktech, resp. spojích, elektronických zařízení napájených stejnosměrným napětím. Hodnota napájecího napětí byla zvolena z důvodu možnosti porovnání výsledků se zdrojem rušení uvedeným v kap. 6.2.6. Při všech měřeních byla umístěna v blízkosti vedení a byla zapnuta po celou dobu měření. Všechny naměřené průběhy jsou uvedeny v Příloze 6 a zpracované průběhy při různých vstupních signálech jsou ve spektrální oblasti uvedeny na OBR. 6.27, OBR. 6.28 a OBR. 6.29.

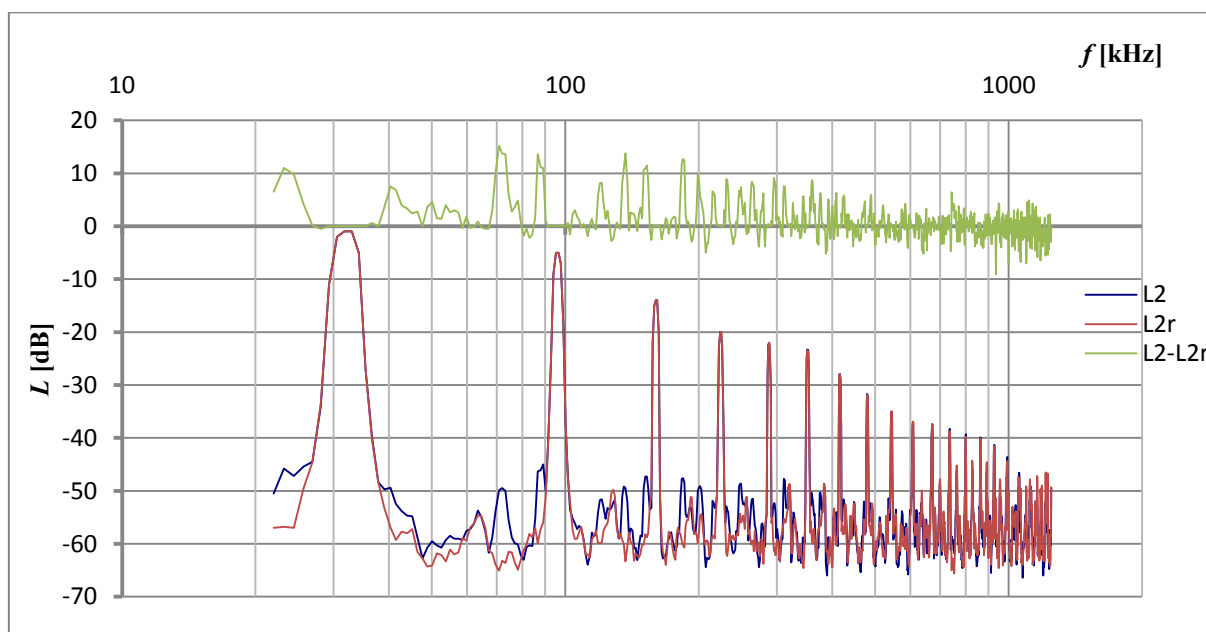
Rušící signál má ve frekvenčním pásmu do 5 kHz charakter bílého šumu, viz OBR. 6.27. Šum rušeného signálu se pohybuje v pásmu hodnot úrovní od -47 dB do -37 dB, tedy v pásmu širším a s vyššími hodnotami úrovní než u nerušeného signálu. Rušení ovlivnilo úrovně významných frekvencí ze spektra nerušeného signálu zvýšením do úrovní hodnot šumu rušeného signálu, žádné významné frekvence se tak ve spektru rušeného signálu neobjevují.

Rozdíl výstupních úrovní signálů na nerušeném a rušeném vedení je v pásmu hodnot od -29 dB do -15 dB. Při proložení tohoto průběhu lineární spojnici trendů je patrné průměrné zesílení úrovní všech frekvencí ve spektru o 23 dB.



**OBR. 6.27 - Spektrum výstupního analogového signálu rušeného obvodem s relé napájeným 15 V**

Také ve frekvenčním pásmu do 1 200 kHz, viz OBR. 6.28, má rušící signál charakter bílého šumu. Rušení nemělo vliv na úroveň základní frekvence ani na úrovně lichých harmonických. Významné frekvence 764 kHz, 827 kHz a 891 kHz, které se objevovaly na nerušeném vedení, jsou nepatrně zesíleny. Žádné další frekvence ve spektru rušeného signálu nejsou.



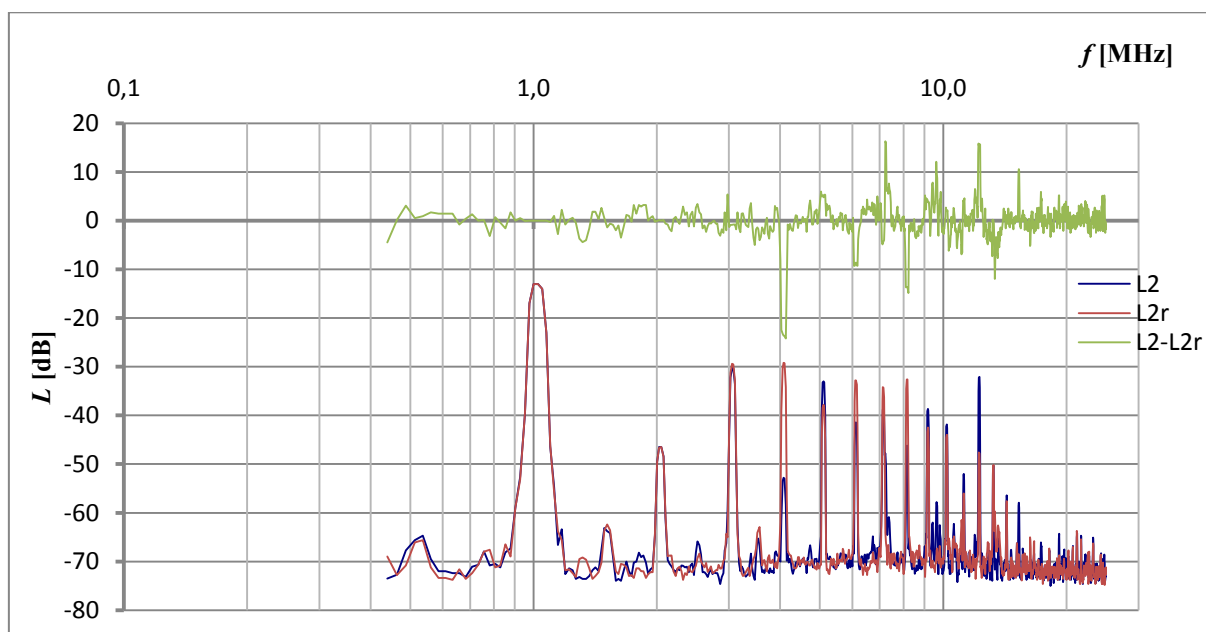
**OBR. 6.28 - Spektrum výstupního impulsního signálu o přenosové rychlosti  $64 \text{ kbit} \cdot \text{s}^{-1}$  rušeného obvodem s relé napájeným 15 V**



Rozdíl výstupních úrovní signálů na nerušeném a rušeném vedení je v pásmu hodnot od -9 dB do +15 dB. Z lineární spojnice trendů tohoto průběhu je zřejmý útlum úrovní frekvencí ve spektru do 200 kHz a zesílení v pásmu nad 200 kHz, což se projevuje klesajícím průběhem spojnice trendů, a to z hodnoty 2,5 dB pro nejnižší frekvence k nule pro 200 kHz a k hodnotě -1,5 dB pro nejvyšší frekvence v měřeném frekvenčním pásmu.

Na úroveň základní frekvence a na druhou harmonickou nemělo rušení v pásmu do 12 MHz žádný vliv, viz OBR. 6.29. Rušící signál způsobil v pásmu do 9 MHz zesílení úrovní, nejvíce čtvrté, šesté a osmé harmonické, a utlumení páté harmonické. V pásmu nad 9 MHz byly vyšší harmonické signálu tlumené. Významné frekvence ze spektra nerušeného signálu 7 250 kHz a 9 630 kHz byly potlačeny do hodnot úrovní šumu.

Rozdíl výstupních úrovní signálů na nerušeném a rušeném vedení je nejčastěji v pásmu hodnot od -8 dB do +8 dB.



**OBR. 6.29 - Spektrum výstupního impulsního signálu o přenosové rychlosti 2 048 kbit.s<sup>-1</sup> rušeného obvodem s relé napájeným 15 V**

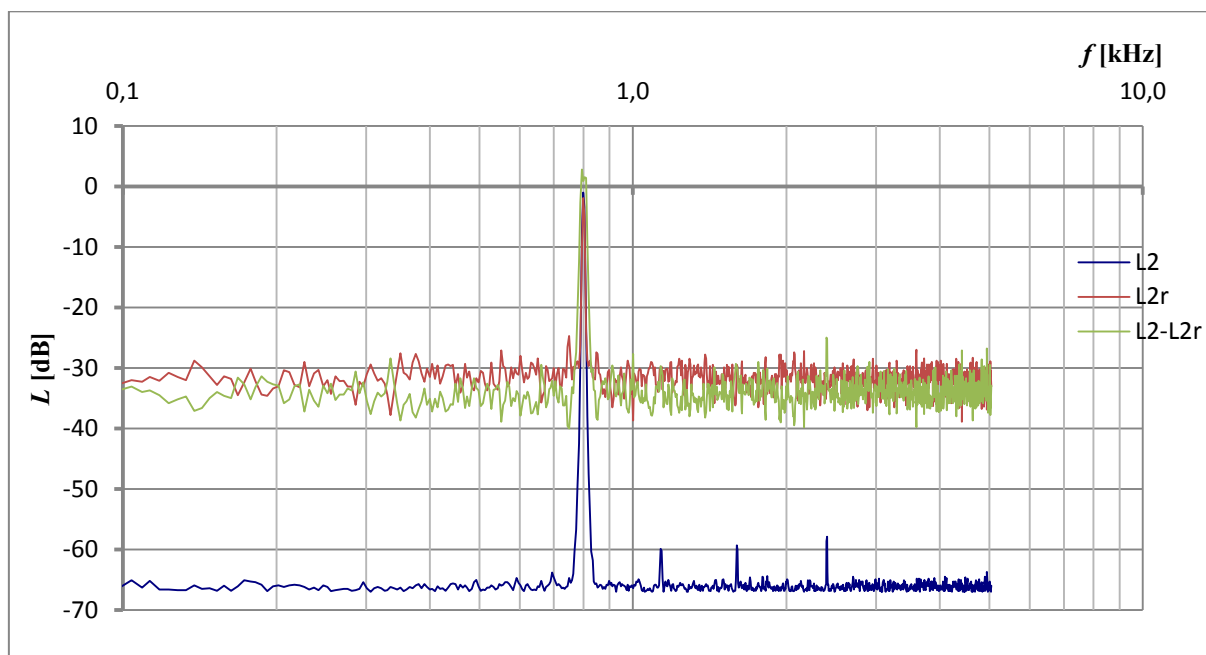
Závěr: zdroj rušení má širokopásmový charakter, nejvíce se projevuje v pásmu do 5 kHz, rušící signál má charakter bílého šumu o úrovni cca -23 dB bez významné frekvence. Ve spektru impulsního signálu o přenosové rychlosti 64 kbit.s<sup>-1</sup> se rušení výrazně neprojevovalo. Ve spektru impulsního signálu o přenosové rychlosti 2 048 kbit.s<sup>-1</sup> je patrný vliv rušení zejména zesílením úrovní vyšších harmonických. Z obrázků vyplývá, že základní frekvence impulsních signálů ve spektrech ovlivněna

nebyla a úrovně šumu rušených impulsních signálů na konci vedení jsou ve stejném pásmu hodnot jako u odpovídajících spekter signálů nerušených vedení.

### 6.2.6 Určení charakteristických frekvencí obvodu s relé napájeným 230 V

Pomocí obvodu s relé napájeným střídavým napětím 230 V bylo simulováno jiskření při nedokonalých kontaktech resp. spojích. Tato situace se může vyskytovat v domácnostech ve vypínačích osvětlení, zásuvkách atd. Hodnota napájecího napětí byla zvolena z důvodu možnosti porovnání výsledků se zdrojem rušení uvedeným v kap. 6.2.5. Všechny naměřené průběhy jsou uvedeny v Příloze 7 a zpracované průběhy při různých vstupních signálech jsou ve spektrální oblasti uvedeny na OBR. 6.30, OBR. 6.31 a OBR. 6.32.

Rušící signál má ve frekvenčním pásmu do 5 kHz charakter bílého šumu, viz OBR. 6.30. Šum rušeného signálu se pohybuje v pásmu hodnot úrovní od -39 dB do -27 dB. Významné frekvence ze spektra nerušeného signálu rušení zesílilo pouze do oblasti hodnot úrovně šumu. Za novou významnou frekvenci ve spektru rušeného signálu lze považovat frekvenci 750 Hz, která je zesílena o 40 dB.

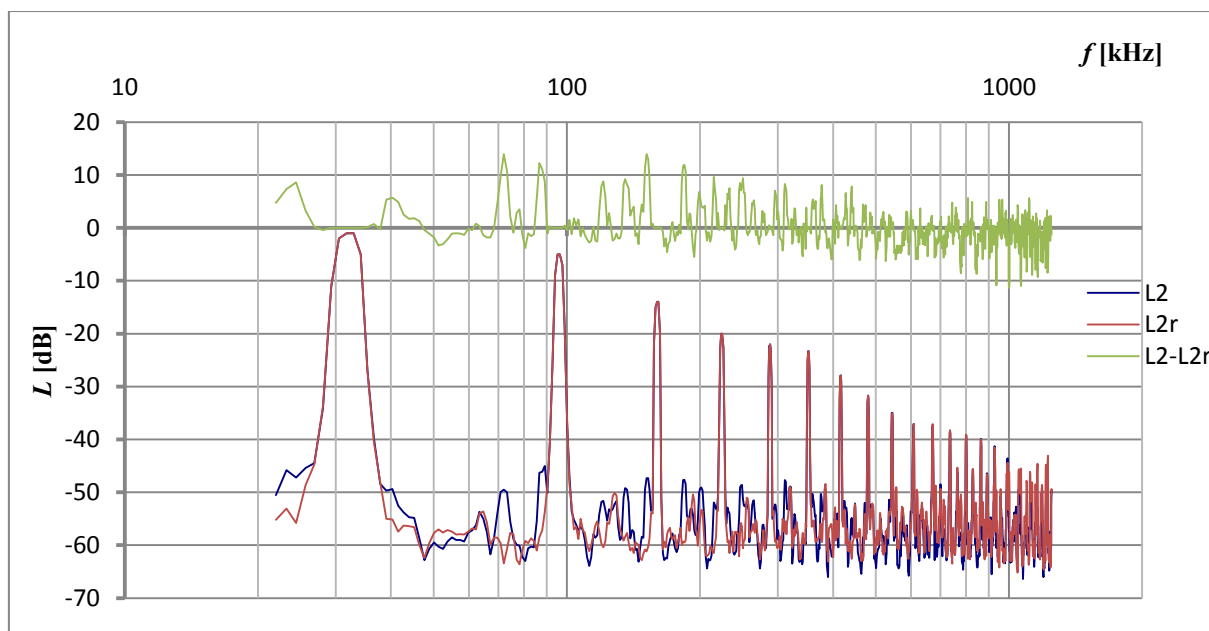


OBR. 6.30 - Spektrum výstupního analogového signálu rušeného obvodem s relé napájeným 230 V

Rozdíl výstupních úrovní signálů na nerušeném a rušeném vedení je v pásmu hodnot od -40 dB do -25 dB. Při proložení průběhu lineární spojnicí trendů je patrné průměrné zesílení úrovní všech frekvencí ve spektru o 34 dB. Základní frekvence je o 1 dB utlumena.

Také ve frekvenčním pásmu do 1 200 kHz, viz OBR. 6.31, má rušící signál charakter bílého šumu. Rušení nemělo vliv na úroveň základní frekvence ani na úrovně lichých harmonických. Významné frekvence 764 kHz, 827 kHz a 891 kHz, které se objevovaly na nerušeném vedení, jsou i ve spektru rušeného signálu. Žádné další významné frekvence ve spektru nejsou.

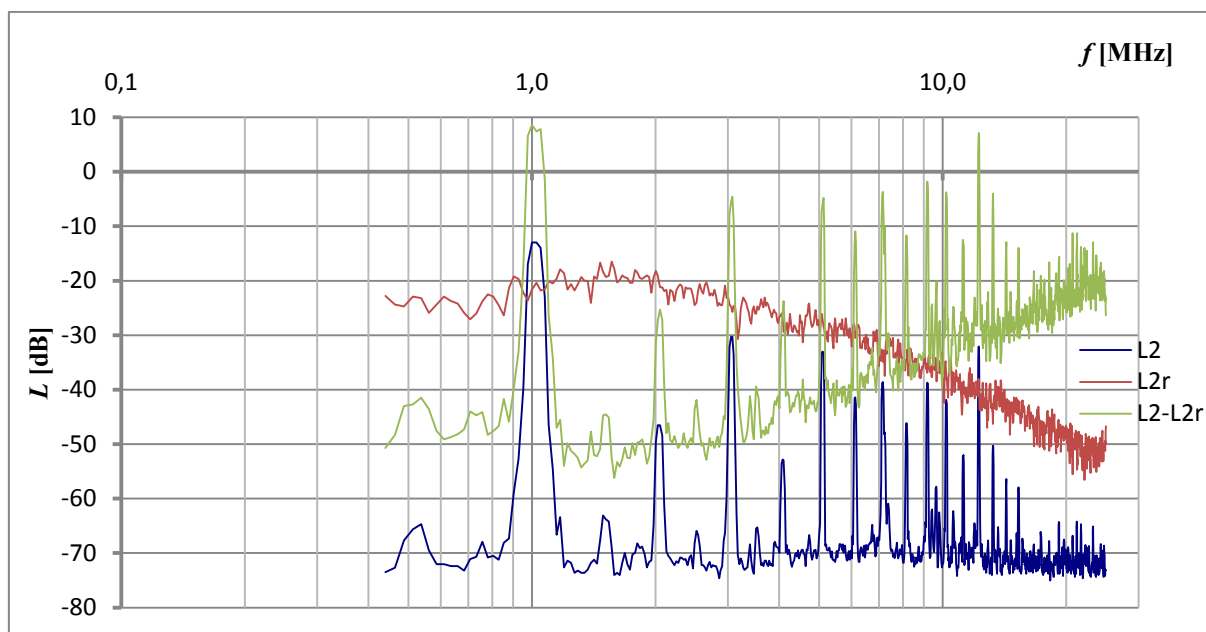
Rozdíl výstupních úrovní signálů na nerušeném a rušeném vedení z OBR. 6.31 je v pásmu hodnot od -11 dB do +14 dB. Z lineární spojnice trendů tohoto průběhu by byl zřejmý útlum úrovní frekvencí zejména ve spektru do 100 kHz a zesílení v pásmu nad 100 kHz, což se projevuje klesajícím průběhem spojnice trendů, a to z hodnoty 1 dB pro nejnižší frekvence k nule pro 100 kHz a k hodnotě -2,5 dB pro nejvyšší frekvence v měřeném frekvenčním pásmu. Úrovně frekvencí jsou vyšší zejména pro frekvence nad 1 MHz.



**OBR. 6.31 - Spektrum výstupního impulsního signálu o přenosové rychlosti 64 kbit.s<sup>-1</sup> rušeného obvodem s relé napájeným 230 V**

Průběh rušícího signálu v pásmu do 25 MHz, viz OBR. 6.32, je zcela odlišný od všech dřívějších průběhů. Pokles výstupní úrovně užitečného signálu odpovídá přesycení šumem přizpůsobovacího členu PČ2 a jeho vyřazení z činnosti.

Závěr: tento zdroj rušení se nejvíce projevuje v pásmu do 5 kHz, rušící signál má charakter bílého šumu o úrovni cca -34 dB bez významné frekvence. Ve spektru impulsního signálu o přenosové rychlosti 64 kbit.s<sup>-1</sup> se rušení výrazně neprojevovalo.



**OBR. 6.32 - Spektrum výstupního impulsního signálu o přenosové rychlosti  $2\,048\text{ kbit}\cdot\text{s}^{-1}$  rušeného obvodem s relé napájeným 230 V**

### 6.3 Identifikace rušících zdrojů

Z předchozích kapitol vyplývá, že všechny zvolené zdroje rušení generují signál, který má charakter bílého šumu, a zdroje s elektrickým motorkem generují i významné frekvence, které lze využít pro jejich identifikaci.

Největší ovlivnění hovorových signálů rušícím signálem je ve frekvenčním pásmu 0 – 5 kHz, tj. v pásmu využívaném především pro analogový přenos signálů, a to od spotřebičů, kde zdrojem rušení je jiskření. Rušení se zde projevovalo různě zvýšenou úrovní šumu ve spektru v závislosti na zdroji rušení, někdy se projevilo také útlumem základní frekvence a výskytem významných frekvencí ve spektru.

V pásmu využívaném pro impulsní přenosy rušení většinou zvyšovalo úroveň lichých i sudých harmonických až u frekvencí nad 1 MHz. V pásmu se základní frekvencí 32 kHz se rušení ve spektru projevilo významnými frekvencemi.

Shrnutí dílčích závěrů uvedených v kapitole 6.2 a přehledné třídění příznaků zdrojů rušení je uvedeno v TAB. 6.1.

Postup vyhledání neznámého zdroje rušení, lze v bodech popsat následujícím způsobem:

- Zjistit délku rušené účastnické přípojky a zatěžující impedanci rušené účastnické přípojky.

- Pomocí regresního matematického modelu vypočítat teoretický výstupní průběh signálu při vstupním signálu analogovém o frekvenci 800 Hz.
- Pomocí regresního matematického modelu vypočítat teoretický výstupní průběh signálu při vstupním signálu impulsním o přenosové rychlosti  $64 \text{ kbit.s}^{-1}$ .
- Realizovat měření na rušeném účastnickém vedení pro oba vstupní signály.
- Porovnat teoretické průběhy na vedení s reálným výstupním signálem rušeného vedení.
- Zjistit charakteristické frekvence.
- Podle charakteristických frekvencí identifikovat potenciální zdroj rušení.
- Verifikovat zdroj rušení s úrovní šumu na tomto vedení ve frekvenčním pásmu do 5 kHz.

Základem algoritmu pro vyhledávání potenciálního neznámého zdroje rušení jsou potom informace obsažené v TAB. 6.1. Závěrečnou fází celého procesu je vyhledání druhu zdroje rušení v reálném objektu a jeho odstranění. V této etapě řešení postup neumožňuje identifikovat více různých zdrojů rušení.

TAB. 6.1 - Porovnání zdrojů rušení

Zdroj rušení	Základní frekvence ve spektru signálu		Frekvence ve spektru signálu s vyšší úrovní než šum				Šum L2 [dB]					
			Sudé harmonické	Liché harmonické	Další významné frekvence		od	do				
Žádný	800 Hz		2.	3.	1 134 Hz		-67	-65				
	32 kHz			3.,5.,7.,9...	764 kHz, 827 kHz, 891 kHz		-66	-48				
	1,02 MHz		2.,4.,6.,8...	3.,5.,7.,9...	7 250 kHz 9 630 kHz		-75	-61				
		Vliv rušení na základní frekvenci	Vliv rušení na výše uvedené sudé harmonické	Vliv rušení na výše uvedené liché harmonické	Vliv rušení na výše uvedené významné frekvence	Vliv rušení na ostatní frekvence ve spektru	Šum L2r [dB]		L2-L2r [dB]		Popis lineární spojnice trendů (průměr) [dB]	Nové významné frekvence ve spektru rušeného signálu
							od	do	od	do		
Mikrovlnná trouba	800 Hz	-	-	-	v úrovni šumu	-	-67	-65	-2	2	0	
	32 kHz	-		-	v úrovni šumu	útlum o 2 dB	-66	-50	-5	15	od 3 do 1	
	1,02 MHz	-	útlum 2. zesílení 4.,6.,8.	útlum 3.,5. zesílení 7.,9.	-	-	-75	-61	-5	6	0	
Vrtačka	800 Hz	-	zesílení o 2 dB	-	v úrovni šumu	zesílení o 2 dB	-66	-62	-5	0	-2	789 Hz 809 Hz
	32 kHz	-		-	-	-	-66	-48	-6	6	0	87 kHz, 183 kHz, 248 kHz
	1,02 MHz	-		útlum 9. zesílení 2.,4.,6.,8.	v úrovni šumu	zesílení o 1 dB	-75	-61	-17	17	od -2 do 0	
Mixér	800 Hz	útlum o 3 dB	v úrovni šumu	v úrovni šumu	v úrovni šumu	zesílení o 38 dB	-33	-24	-43	-33	-38	
	32 kHz	-		-	-	-	-66	-48	-6	6	0	87 kHz, 151 kHz, 183 kHz, 248 kHz, 312 kHz
	1,02 MHz	-		útlum 9. zesílení 2.,4.,6.,8.	v úrovni šumu	do 9 MHz zesílení od 9 MHz útlum	-75	-61	-15	17	od -1,5 do 0,5	
Vysoušeč vlasů	800 Hz	útlum o 0,5 dB	v úrovni šumu	v úrovni šumu	v úrovni šumu	zesílení o 6 dB	-63	-57	-12	0	-6	4 500 Hz, 4 600 Hz
	32 kHz	-		-	-	-	-66	-48	-6	5	0	87 kHz, 151 kHz, 183 kHz, 248 kHz, 312 kHz
	1,02 MHz	-		útlum 9. zesílení 2.,4.,6.,8.	v úrovni šumu	do 9 MHz zesílení od 9 MHz útlum	-75	-61	-15	17	od -1,5 do 0,5	
Relé 15 V	800 Hz	-	v úrovni šumu	v úrovni šumu	v úrovni šumu	zesílení o 23 dB	-47	-37	-29	-15	-23	
	32 kHz	-		-	zesílení o cca 1 dB	do 200 kHz útlum nad 200 kHz zesílení	-66	-48	-9	15	od 2,5 do -1,5	928 kHz, 992 kHz
	1,02 MHz	-		útlum 5.,9. zesílení 4.,6.,8.	v úrovni šumu	-	-75	-61	-8	8	0	
Relé 220 V	800 Hz	útlum o 1 dB	v úrovni šumu	v úrovni šumu	v úrovni šumu	zesílení o 34 dB	-39	-27	-40	-25	-34	750 Hz
	32 kHz	-		-	-	zesílení v pásmu nad 1 MHz	-66	-48	-11	14	od 1 do -2,5	
	1,02 MHz	útlum na úroveň šumu					-57	-16				

## 7 Ověření vhodnosti matematického modelu a výsledky disertační práce

Časový průběh signálu a jeho spektrum jsou vázány lineárními vztahy a pro periodické signály jsou dány rovnicemi:

$$g(t) = \sum_{-\infty}^{+\infty} C_v \cdot e^{+j\omega_0 \cdot t} \quad (7-1)$$

$$C_v = \frac{1}{T_0} \int_{-\frac{T_0}{2}}^{+\frac{T_0}{2}} g(t) \cdot e^{-jn \cdot \omega_0 \cdot t} \cdot dt \quad (7-2)$$

kde  $C_v$  je vektor amplitudy  $v$  - té harmonické složky. Základní harmonická složka signálu má kmitočet  $f_0$ , úhlový kmitočet  $\omega_0 = 2\pi \cdot f_0 = 2\pi / T_0$ , kde  $T_0$  je doba periody základní harmonické.

Ze vztahu pro regresní matematický model (5-9), lze uvažovat kanál charakterizovaný funkcí

$$F(\omega) = 1,744 \cdot (7 \cdot 10^{-7} Z_2^2 - 0,0016 Z_2 + 1,448) \cdot (0,0017 \omega^2 + 0,0567 \omega + 0,5856) \quad (7-3),$$

Pro 600 ohmů a 0,8 kHz bude mít vztah (7-3) hodnotu 1,177 dB. V tomto případě tedy platí  $F(\omega) = k$ , kde  $k$  je reálná konstanta.

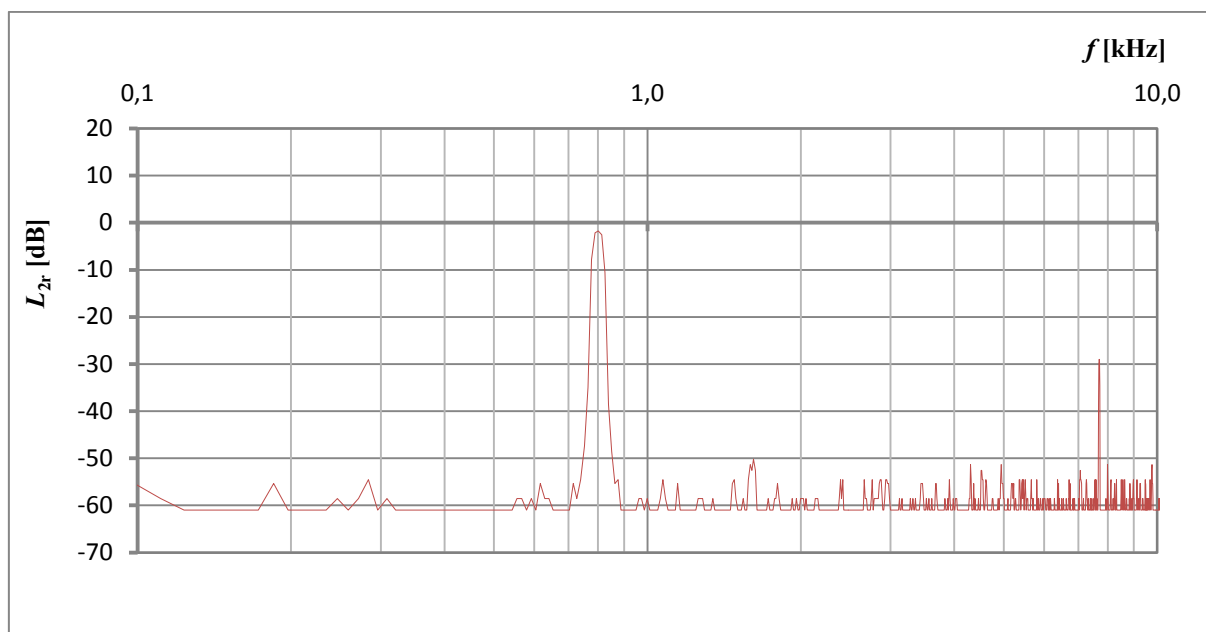
Mezi signálem  $g_1(t)$  a jeho odezvou  $g_2(t)$  platí vztah, dle (KROUTL, 1963):

$$g_2(t) = k \cdot g_1(t) \quad (7-4)$$

Fourierova transformace pro převod signálů z časové oblasti do oblasti frekvenční je dána integrálním vztahem, (Wikipedie, 2012):

$$G_2(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} g_2(t) \cdot e^{-j \cdot \omega \cdot t} dt \quad (7-5)$$

Vhodnost řešení byla ověřována v laboratorních podmínkách v budově Krásnopolská. Pro zatěžovací impedanci o hodnotě 600  $\Omega$  bylo pomocí regresního matematického modelu a Fourierovy transformace vypočítáno spektrum výstupního signálu pro vstupní analogový signál o jedné frekvenci 800 Hz. Vzhledem k tomu, že se jedná o periodický harmonický signál, je ve spektrální oblasti pouze základní frekvence, která je utlumena o hodnotu  $k$ . Měřením na neznámém rušeném vedení byl zjištěn průběh uvedený na obr. 7.1.

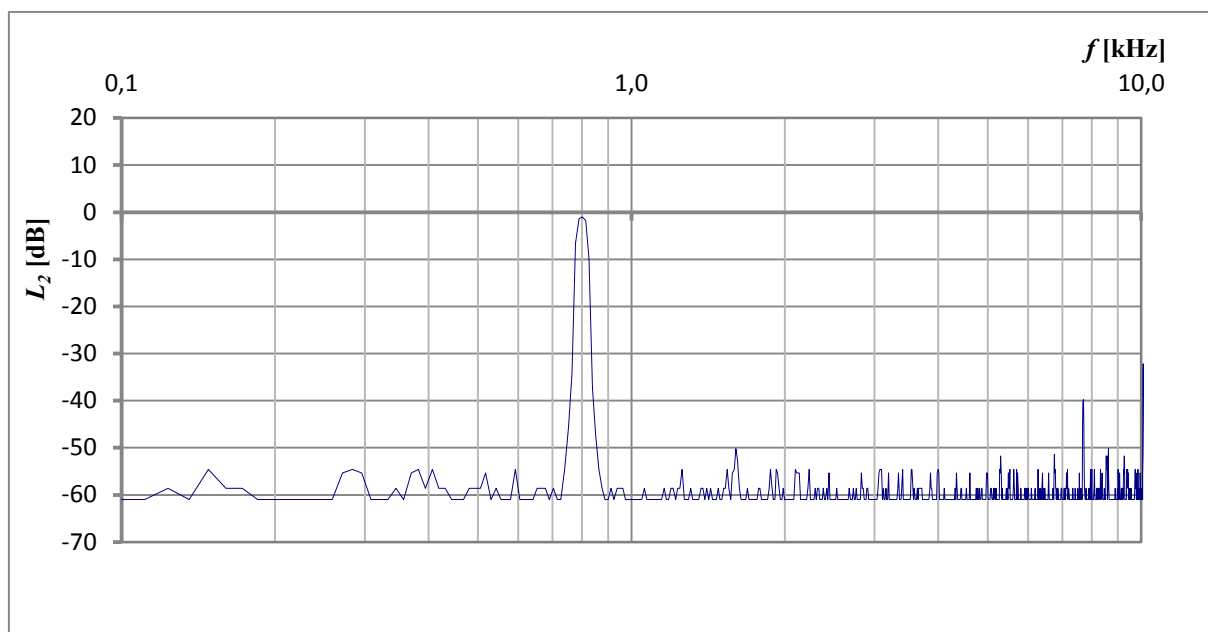


**OBR. 7.1 – Spektrum rušeného výstupního analogového signálu**

Z OBR. 7.1 je zřejmé, že významnou frekvencí je ve spektru frekvence 7682 Hz. Zbývající frekvence lze zanedbat, protože jejich úroveň je v pásmu šumu. Prohlídkou objektu byl následně identifikován jako zdroj rušení rack se servery umístěnými v sousední místnosti. Vzhledem k tomu, že servery jsou využívány pouze v laboratoři katedry, bylo měření provedeno i při vypnutých serverech. Naměřený průběh je na OBR. 7.2.

Je však nutné konstatovat, že možnost realizace kontrolního měření má provozní omezení a při měření v terénu může vzniknout celá řada dalších problémů. Protože se však jedná o nový přístup k problému a řešení je orientováno na účastnické přípojky, je velký předpoklad pro využívání výsledků práce v praxi. Hlavním přínosem je možnost určení přibližného zdroje rušení na účastnickém vedení.





**OBR. 7.2 - Spektrum nerušeného výstupního analogového signálu**

## 8 Splnění cílů a přínos práce

Cíle práce, tak jak byly komisí stanoveny při obhajobě tezí doktorské práce, jsou uvedeny v kapitole 3. Jejich splnění hodnotím následovně:

- Provést rozbor vybraných typů rušení na přenášené signály

V kapitole 2 jsou detailně popsány používané technologie pro přenos signálů na účastnickém vedení. Rozbor vybraných typů rušení, možné způsoby rušení na blízkém i vzdáleném konci vedení a možné typy rušení přenosu z okolního prostředí jsou uvedeny v kapitole 4.

- Vytvořit regresní matematický model pro identifikaci rušení na přenášené signály

V kapitole 5 je uveden regresní i analytický matematický model účastnického vedení, který vychází z diferenciálních rovnic vedení a akceptuje jako parametry sekundární parametry vedení. Vliv parametrů je v regresním modelu zahrnutý víceparametrickou regresí s výpočtem spektra výstupního signálu.

- Stanovit parametry matematického modelu

Parametry matematických modelů jsou v podstatě tři - zatěžovací impedance vedení, primární parametry vedení a frekvence. Způsob jejich akceptování je popsán v kapitole 5.

- Ověřit vhodnost vytvořeného matematického modelu

Těsnost a vhodnost regresního matematického modelu je porovnána s modelem analytickým v kapitole 5.5. Využití regresního modelu je popsáno v kapitole 7 při praktickém zjišťování možného zdroje rušení na účastnickém vedení.

Na základě uvedeného se domnívám, že stanovené cíle pro disertační práci byly v plném rozsahu splněny. Jejich využití je potom orientováno na zjišťování vlivu elektrického zdroje rušení na účastnickém vedení. Význam této části práce je především pro praxi, jak je uvedeno v následující kapitole.

Hlavní přínos práce je ve vytvoření metody pro identifikaci neznámého zdroje rušení signálu přenášeného po účastnickém vedení. V současné době je v objektech stále rozvod signálu realizován metalickým vedením, mnohdy starým, nestíněným a nevyhovujícím současným požadavkům. Právě stav izolace vodičů má značný vliv na přeslechy a dochází k rušení přenášeného signálu okolními zdroji. Složitost rozvodu, časté odbočky a používání spotřebičů mnohdy nesplňující normy EMC má za následek stížnosti účastníků na kvalitu služby, která často vede až k rušení pevných účastnických

přípojek. Navržená metoda pro zjišťování neznámého zdroje rušení vychází z teoretického popisu metalického přenosového média a tento popis sestavený do regresního matematického modelu vedení využívá k výpočtu spektra výstupního signálu. Toto spektrum je počítáno pro dva používané typy vstupních signálů, a to analogový a impulsní. Pomocí takto vypočítaného spektra a vykonaného měření na reálné rušené účastnické přípojce je možné přibližně určit zdroj rušení.

Ke stanovení přibližného zdroje rušení je určena TAB. 6.1, která byla sestavena na základě výsledků realizovaných měření. Všechna vykonaná měření jsou detailně popsána v kapitole 6.

## 9 Závěry pro praxi a další rozvoj oboru

Z vykonaných měření se ukazuje, že současná účastnická vedení jsou využitelná pro impulsní způsoby přenosu až do frekvencí řádově MHz a po stránce přenosových parametrů vyhovují požadavkům technologií xDSL. Rušení přenášených signálů se nejvíce projevuje ve frekvenčním pásmu 0 – 5 kHz a zdroj tohoto rušení je v podstatě lehce identifikovatelný. Tyto závěry vyplývají ze série vykonaných měření, avšak na novém a v současné době používaném stíněném kabelu SYKFY.

V reálné síti se však vyskytují kabeláže starší a právě tato skutečnost byla rozhodující pro téma disertační práce, které bylo konzultováno s pracovníky firmy O2 a vychází tedy z potřeb praxe. Výsledky práce jsou proto prezentovány v jednoduchém postupu tak, aby byly zvládnutelné a využitelné servisními pracovníky telekomunikačních firem. Právě pro ně je určena kapitola 7, zahrnující postup při identifikaci zdroje rušení.

Z pohledu vývoje lze předpokládat neustálé rozšiřování optických vláken a jejich využívání i v účastnických přípojkách. V této etapě bude řešený úkol neaktuální, avšak tato situace je zásadně podmíněna investicemi. Nasazení optiky se navrhuje u nových přípojek, ale rušení současných rozvodů se ani výhledově nepředpokládá. Z tohoto důvodu lze tedy předpokládat využívání výsledků disertační práce.

Rozvoj oboru telekomunikační technika je v současné době orientován do několika směrů. Nejvýraznějším je bezpečnost sítí a zabezpečení přenášené informace, oblast zpracování signálů orientovaná na snížení přenosové rychlosti a v neposlední řadě i problémy spojené s přenosem informace po přístupových sítích a účastnických přípojkách. Transportní sítě jsou v současné době v podstatě vybudovány a svojí kapacitou postačují i výhledovým kapacitám. Přístupové sítě a účastnické přípojky kapacitně nepostačují a zaváděné technologie přinášejí technické problémy vyplývající především z technického stavu přípojek. Vzniká takto celá řada sekundárních problémů vyplývajících z provozu a tedy potřeba jejich vyřešení. Problematika přenášených signálů a kvalita přenosu je jedním z nich.

Doba řešení úkolu a možnosti realizace klíčových měření pouze v laboratoři neumožňuje komplexní vyřešení a ověření nové metodiky, a proto popsané řešení má v současnosti některá omezení. Za finální lze považovat zpracování teoretické části a sestavený regresní matematický model. Pokračování v řešení by mělo být zaměřeno na vykonání měření v terénu na rušených účastnických přípojkách, čímž by byla ověřena zvolená koncepce řešení. Reálné vedení bude mít určitě jiné přenosové parametry než nový a v současné době používaný kabel pro účastnické analogové přípojky. Následně by bylo vhodné rozšířit i počet rušících zdrojů. V rámci disertační práce byly vytipovány zdroje, jejichž vliv se v domácnosti může na účastnické přípojce nejčastěji projevit.

## 10 Závěr

Charakter přenášených signálů má zásadní vliv na potřebné přenosové pásmo. Zvyšující se přenosové rychlosti vyžadují jeho zvyšování, což na méně kvalitních vedení přináší celou řadu technických problémů. Problémy trvalého charakteru jsou relativně jednoduše zjištělné a následně odstranitelné. Náhodné poruchy, resp. vliv externího rušení na přenášený signál, je zjištělný poměrně složitě a jeho odstranění je rovněž poměrně složitě. Protože se jedná o časově omezený náhodný vliv s dopadem na kvalitu přenosu, není zjištění zdroje rušení v podstatě bez praktického měření možné. Pracovníci zabývající se údržbou vedení nemají často ani potřebné přístrojové vybavení a teoretické znalosti pro tento úkol. Protože uvedený problém se vyskytuje nejčastěji na účastnickém vedení, byl brán na tuto skutečnost zřetel.

Hlavním záměrem disertační práce bylo vytvoření metodiky s výstupem umožňujícím s určitou pravděpodobností zjistit potenciální zdroj rušení signálů na účastnickém vedení. Důraz byl položen na metodiku jednoduchou a v praxi využitelnou. Celý problém byl proto řešen ve dvou rovinách, první rovina představovala vyřešení teoretických problémů a druhá rovina se zabývá zpracováním metodiky způsobem vhodným pro praxi. V první rovině byl proto z platných teoretických vztahů sestaven matematický model, který jako vstupní informace akceptuje základní geometrické a elektrické parametry účastnické přípojky. Výstupem modelu je spektrum výstupního signálu při známém vstupním signálu. Jako vstupní signál je možné zvolit signál analogový o frekvenci 800 Hz, nebo jeden ze signálů impulsních se střídou 1:1 a přenosovou rychlostí  $64 \text{ kbit.s}^{-1}$  nebo  $2\,048 \text{ kbit.s}^{-1}$ . Druhá rovina využívá praktické porovnání změřeného výstupního signálu na rušené účastnické přípojce s výstupem matematického modelu. Na předem známých projevech rušení různých elektrických zdrojů jsou potom z porovnání průběhů spekter stanoveny rozhodující frekvence nebo úroveň šumu a je určen potenciální zdroj rušení.

Závěrem je možné konstatovat, že byl sestaven matematický model a byla vykonána celá řada měření v laboratorních podmínkách na kabelu používaném pro účastnické přípojky při známých zdrojích rušení a byly specifikovány vybrané vlastnosti rušících zdrojů pro jejich identifikaci. Všechna měření byla provedena tak, aby byla zajištěna jejich věrohodnost. Jednotlivá měření jsou zařazena do příloh disertační práce.

Další postup ve výzkumu problematiky rušení by měl být zaměřen na rozšíření databáze rušících zdrojů, aby bylo možné co nejpřesněji tyto zdroje identifikovat a konkretizovat.

Výsledky dosažené při řešení dokladují splnění cílů disertační práce. Rozhodující výsledky byly publikovány, viz (PETŘÍKOVÁ, 2010), (PETŘÍKOVÁ, 2011) a (PETŘÍKOVÁ, et al., 2012).

## Použitá literatura

**BARTSCH, Hans Jochen. 2002.** [editor] Blanka Kirsteinová. [překl.] Zdeněk Tichý. *Matematické vzorce*. Praha : Mladá fronta, 2002. Třetí, revidované, str. 832. ISBN 80-204-0607-7.

**BLUNÁR, Karol, DIVIŠ, Zdeněk. 2003.** *Telekomunikační sítě. Díl 1*. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Katedra elektroniky a telekomunikační techniky, 2003. str. 619. ISBN 80-248-0391-7.

—. **2006.** *Telekomunikační sítě. Díl 2*. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Katedra elektroniky a telekomunikační techniky, 2006. str. 630. ISBN 80-248-1077-8.

**ETSI. 1996.** ETR 152. *HDSL transmission system on metallic local lines*. Sophia Antipolis Cedex, France : ETSI TC-TM, Dec. 1996. p. 164. Third Edition. [Cited: 20 October 2012.] [www.etsi.org/deliver/etsi\\_etr/100\\_199/152/03\\_60/etr\\_152e03p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_etr/100_199/152/03_60/etr_152e03p.pdf). ISBN 2-7437-1162-0.

—. **1999-10.** ETSI TS 101 270-1 V1.2.1. *Access transmission systems on metallic access cables; Very high speed Digital Subscriber Line (VDSL); Part 1: Functional requirements*. Sophia Antipolis Cedex, France : European Telecommunications Standards Institute, 1999-10. p. 60. [Cited: 20 October 2012.] [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/101200\\_101299/10127001/01.02.01\\_60/ts\\_10127001v010201p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/101200_101299/10127001/01.02.01_60/ts_10127001v010201p.pdf).

—. **2003-07.** ETSI TS 101 270-2 V1.2.1. *Transmission and Multiplexing (TM); Access transmission systems on metallic access cables; Very High Speed Digital Subscriber Line (VDSL); Part 2: Transceiver specification*. Sophia Antipolis Cedex, FRANCE : European Telecommunications Standards Institute, 2003-07. p. 158. [Cited: 20 October 2012.] [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/101200\\_101299/10127002/01.02.01\\_60/ts\\_10127002v010201p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/101200_101299/10127002/01.02.01_60/ts_10127002v010201p.pdf).

—. **2000-04.** ETSI TS 101 524-1 V1.1.1. *Access transmission systems on metallic access cables; Symmetrical single pair high bitrate; Digital Subscriber Line (SDSL)*. Sophia Antipolis Cedex, France : European Telecommunications Standards Institute, 2000-04. p. 125. [Cited: 20 October 2012.] [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/101500\\_101599/101524/01.01.01\\_60/ts\\_101524v010101p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/101500_101599/101524/01.01.01_60/ts_101524v010101p.pdf).

**GREGOŘICA, Miroslav. 2005.** Rušivé vlivy působící na vedení xDSL systémů. *Elektrorevue*. [Online] 2005. [Citace: 10. květen 2010.] <http://www.elektrorevue.cz/clanky/05003/index.html>. ISSN 1213-1539.

**ITU-T. 10/1998.** ITU-T Recommendation G.991.1. *High bit rate Digital Subscriber Line (HDSL) transceivers*. 10/1998. p. 171. [Cited: 20 October 2012.] <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.991.1-199810-I/en>.

—, **12/2003.** ITU-T Recommendation G.991.2. *Single-pair high-speed digital subscriber line (SHDSL) transceivers*. 12/2003. p. 234. [Cited: 20 October 2012.] <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.991.2-200312-I/en>.

—, **06/1999 a.** ITU-T Recommendation G.992.1. *Asymmetrical digital subscriber line (ADSL) transceivers*. 06/1999 a. p. 256. [Cited: 20 October 2012.] <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.992.1-199907-I/en>.

—, **06/1999 b.** ITU-T Recommendation G.992.2. *Splitterless asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers*. 06/1999 b. p. 179. [Cited: 20 October 2012.] <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.992.2-199907-I/en>.

—, **06/2004.** ITU-T Recommendation G.993.1. *Very high speed Digital Subscriber Line foundation*. 06/2004. [Cited: 20 October 2012.] <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.993.1/en>.

—, **12/2011.** ITU-T Recommendation G.993.2. *Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2)*. 12/2011. [Cited: 20 October 2012.] <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.993.2-201112-I/en>.

**JAREŠ, P. 2007.** Druhá generace přípojky SHDSL. *Access server*. [Online] 11. červen 2007. [Citace: 20. říjen 2012.] <http://access.feld.cvut.cz/view.php?nazevclanku=druha-generace-pripojky-shdsl&cislocclanku=2007060002>.

—, **2004.** Základní popis přípojky SHDSL. *Access server*. [Online] 1. prosinec 2004. [Citace: 20. říjen 2012.] <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cislocclanku=2004111601>.

**KROUTL, F. 1963.** *Signály a hluky*. Praha : NADAS, 1963.

**MARCHEVSKÝ, Stanislav a PALIČKA, Kamil. 2009.** Návrh koncepcie, meranie a overenie schopnosti jednotlivých častí prístupovej siete prenášať signály pre ADSL2+ a 3PP služby. Košice : Technická univerzita v Košiciach, 2009.

**PETŘÍKOVÁ, Iva. 2009.** *Analýza kvality přenosu signálů na účastnickém vedení*. Ostrava : VŠB-TUO, 2009. Referát k doktorské zkoušce.

—, **2010.** Analýza signálů na účastnickém vedení. [ed.] Ivan Sedlár. *EE - Časopis pre elektrotechniku a energetiku*. Október 2010, Vols. 16. NO 5/S, 2010, Mimoriadne číslo - vydanie ku konferencii s

medzinárodnou účasťou Elektrotechnika, informatika a telekomunikácie 2010, pp. 102-105. CD-ROM.

—. **2011.** Regression mathematical model of subscriber extension line. *KTTO 2011*. [Online] 2011. [Cited: 20 October 2012.] Proceedings of the 11th International Conference, Knowledge in Telecommunication Technologies and Optics. Pages: 229-233. Ostrava : VŠB-TUO. Date of conference: June 22-24, 2011, Szczyrk, POLAND.  
[http://homel.vsb.cz/~ska109/Sbornici/KTTO2011\\_Proceedings\\_v11.pdf](http://homel.vsb.cz/~ska109/Sbornici/KTTO2011_Proceedings_v11.pdf). ISBN 978-80-248-2399-7.

**PETŘÍKOVÁ, Iva, DIVIŠ, Zdeněk and TESAŘ, Zdeněk. 2012.** IEEE Xplore - Mathematical Model of Subscriber Extension Line. *IEEE Xplore*. [Online] 28 June 2012. [Cited: 20 October 2012.] Proceeding of 9th Internacional Conference, ELEKTRO 2012. Pages: 83 - 88. Žilina : Žilinská univerzita. Date of Conference: May 21-22, 2012, Rajecské Teplice.  
<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6225577>. ISBN 978-1-4673-1180-9.

**PUŽMANOVÁ, Rita. 2004.** Rodina xDSL ve zkratce. *DSL.cz*. [Online] Telekomunikace, 7. červen 2004. [Citace: 20. říjen 2012.] <http://www.dsl.cz/clanek/5-rodina-xdsl-ve-zkratce>.

**RALSTON, Anthony. 1973.** *Základy numerické matematiky*. [editor] Alena Hanáková a Jaroslav Hrubý. [překl.] Milan Práger a Emil Vitásek. Praha : Academia, 1973. str. 636. 104-21-825.

**RAUSCHMAYER, Dennis, J. 1999.** ADSL/VDSL Principles : A Practical and Precise Study of Asymmetric Digital Subscriber Lines and Very High Spped Digital Subscriber Lines. Indianapolis, USA : Macmillan Technical Publishing, 1999. p. 350. ISBN 1-57870-015-9.

**SCHLITTER, Miloš. 1995.** *Telekomunikační vedení*. Praha : ČVUT, 1995. str. 258.

**SVACHINA, Jiří. 2000.** Základy elektromagnetické kompatibility, Část 2 - Zdroje rušivých signálů a vazební mechanismy jejich přenosu. *Elektorevue, časopis pro elektrotechniku*. [Online] 21. srpen 2000. [Citace: 20. květen 2012.] <http://www.elektorevue.cz/clanky/00031/index.html#kap2>. ISSN 1213-1539.

**SVOBODA, Jaroslav a kolektiv. 2000.** *Telekomunikační technika. Díl I. Zprávy, signály, přenosová prostředí*. Praha : Hüthig&Beneš, 2000.

**ŠIMÁK, Boris, VODRÁŽKA, Jiří a SVOBODA, Jaroslav. 2005.** *Digitální účastnické přípojky xDSL. Díl I. Metody přenosu, popis přípojek HDSL, SHDSL, ADSL, VDSL*. Praha : Sdělovací technika, s.r.o., 2005. ISBN 80-86645-07-X.



**ŠKOP, Miroslav, PETRÁSEK, Miroslav a SOBOTKA, Václav a kolektiv. 1991.** *Telekomunikační přenosová technika*. Praha : ČVUT, 1991. ISBN 80-01-00733-2.

**VODRÁŽKA, Jiří. 2000.** *Přenos vysokými rychlostmi na symetrických párech*. Praha : ČVUT, FEL, 2000. Disertační práce na Katedře telekomunikační techniky.

**VODRÁŽKA, Jiří a ŠIMÁK, Boris. 2008.** *Digitální účastnické přípojky xDSL. Díl 2. Přenosové prostředí, druhá generace ADSL a VDSL, měření na přípojkách*. Praha : Sdělovací technika, s.r.o., 2008. ISBN 80-86645-16-9.

**VODRÁŽKA, Jiří. 2004 b.** Modelování přeslechů. *Access server*. [Online] ČVUT Praha, 29. červenec 2004 b. [Citace: 30. červen 2012.] <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2004072911>. ISSN 1214-9675.

—. **2004 a.** Přehled systémů pro metalické přípojky. *Access server*. [Online] 28. červenec 2004 a. [Citace: 30. červen 2012.] <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2004072810>. ISSN 1214-9675.

—. **2011.** Spektrální profil přípojek VDSL2 vybraný pro síť v ČR. *Access server*. [Online] 10. duben 2011. [Citace: 20. říjen 2012.] <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2011040001>. ISSN 1214-9675.

**Wikipedia, contributors. 2012.** Very-high-bit-rate digital subscriber line. *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [Online] 2012. [Cited: 20 October 2012.] [http://en.wikipedia.org/wiki/Very-high-bit-rate\\_digital\\_subscriber\\_line](http://en.wikipedia.org/wiki/Very-high-bit-rate_digital_subscriber_line).

—. **2012.** White noise. *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [Online] 2012. [Cited: 20 October 2012.] [http://en.wikipedia.org/wiki/White\\_noise](http://en.wikipedia.org/wiki/White_noise).

**Wikipedie, přispěvatelé. 2012.** Fourierova transformace - Wikipedie. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie*. [Online] 27. září 2012. [Citace: 20. 10 2012.] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Fourierova\\_transformace](http://cs.wikipedia.org/wiki/Fourierova_transformace).

## Přehled publikační a projektové činnosti

1. **PETRÍKOVÁ, Iva, DIVIŠ, Zdeněk and TESAŘ, Zdeněk.** IEEE Xplore - Mathematical Model of Subscriber Extension Line. *IEEE Xplore*. [Online] 28 June 2012. [Cited: 20 October 2012.] Proceeding of 9th International Conference, ELEKTRO 2012. Pages: 83 - 88. Žilina : Žilinská univerzita. Date of Conference: May 21-22, 2012, Rajecské Teplice. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6225577> . ISBN 978-1-4673-1180-9.
2. **PETRÍKOVÁ, Iva.** Regression mathematical model of subscriber extension line. *KTTO 2011*. [Online] 2011. [Cited: 20 October 2012.] Proceedings of the 11th International Conference, Knowledge in Telecommunication Technologies and Optics. Pages: 229-233. Ostrava : VŠB-TUO. Date of conference: June 22-24, 2011, Szczyrk, POLAND. [http://homel.vsb.cz/~ska109/Sbornici/KTTO2011\\_Proceedings\\_v11.pdf](http://homel.vsb.cz/~ska109/Sbornici/KTTO2011_Proceedings_v11.pdf). ISBN 978-80-248-2399-7.
3. **PETRÍKOVÁ, Iva.** Analýza signálů na účastnickém vedení. [ed.] Ivan Sedlár. *EE - Časopis pre elektrotechniku a energetiku*. Október 2010, Vols. 16. NO 5/S, 2010, Mimoriadne číslo - vydanie ku konferencii s medzinárodnou účasťou Elektrotechnika, informatika a telekomunikácie 2010, pp. 102-105. CD-ROM.
4. **TESAŘ, Z., PETRÍKOVÁ, I.** Praktická výuka předmětu Elektronické obvody I. In Skapa, J. Vozňák, M. *Research in Telecommunication Technologies - RTT 2010*. Ostrava : Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, VŠB-TUO, 2010, s. 14-15.
5. **VAŠINEK, Vladimír, et al.** From university to company – education of optical communications in cooperation with industry at Technical University of Ostrava. *SPIE: The Education and Training in Optics and Photonics Conference (ETOP)* [online]. 2009 [cit. 2009-12-07] .  
Dostupný z WWW: [http://spie.org/etop/2009/etop2009\\_6b.20.52.pdf](http://spie.org/etop/2009/etop2009_6b.20.52.pdf) , 10%.
6. **DIVIŠ, Zdeněk, CHMELÍKOVÁ, Zdeňka, PETRÍKOVÁ, Iva.** *Logické obvody : pro kombinované a distanční studium*. 1. vyd. Ostrava : Katedra elektroniky a telekomunikační techniky, 2003. 203 s.60 %.
7. **PETRÍKOVÁ, Iva.** *Logické obvody : Příklady*. 1. vyd. Ostrava : VŠB - TU Ostrava, 2001. 156 s. ISBN 80-7078-925-5.

8. Člen řešitelského týmu projektu strukturálních fondů EU, OP Přeshraniční spolupráce, číslo projektu 22420320001, rok 2009-2012.  
Název projektu: Medziregionálna mobilná televízia v systéme DVB-H.  
  
Výstupy projektu:
  - a) DIVIŠ, Z., DVORSKÝ, M., MER, P., ORLÍKOVÁ, L., PETŘÍKOVÁ, I., MICHALEK, L., OTISK, J., SZTURCOVÁ, D., ŠEBESTA, R., VOJTEK, D., MARKOVÁ, I. Ověření technologie televizního digitálního vysílání v systému DVB-T/H. 2011.
  - b) DIVIŠ, Z., DVORSKÝ, M., OTISK, J., PETŘÍKOVÁ, I. Poloprovozní ověření vysílací, komunikační a kompresní infrastruktury s využitím hierarchické modulace. 2011.
9. Člen řešitelského týmu a koordinačního výboru projektu ESF, OP RLZ, CZ.04.1.03/3.2.15.2./0311, rok 2007-2008.  
Název projektu: Implementace multimediálních forem do výuky studijního programu Informační a komunikační technologie.
10. Člen řešitelského týmu a koordinačního výboru projektu ESF, OP RLZ, CZ.04.1.03/3.2.15.1./0006, rok 2005-2007.  
Název projektu: Aprobační rozšiřující studium pro učitele základních a středních škol Moravskoslezského kraje v environmentálních, informačních, komunikačních a strojírenských oborech.
11. Řešitel projektu FRVŠ 1797/2012, TO F1, specifikace a.  
Název projektu: INOVACE PRACOVÍŠTĚ PRO MĚŘENÍ PARAMETRŮ METALICKÝCH VEDENÍ.
12. Řešitel projektu FRVŠ 135/2011, TO F1, specifikace a.  
Název projektu: INOVACE VÝUKY PŘEDMĚTU LOGICKÉ OBVODY.
13. Spoluřešitel projektu FRVŠ 2284/2010, TO F1, specifikace a.  
Název projektu: ROZŠÍŘENÍ VÝUKY PŘEDMĚTU ELEKTRONICKÉ OBVODY I
14. Spoluřešitel projektu FRVŠ 1746/2009, TO F1, specifikace a.  
Název projektu: INOVACE LABORATORNÍ VÝUKY PŘEDMĚTU ZÁKLADY ELEKTRONIKY A ÚVOD DO KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ.
15. Řešitel projektu FRVŠ 178/2008, TO F1, specifikace a.  
Název projektu: INOVACE LABORATORNÍ VÝUKY PŘEDMĚTU PŘENOSOVÁ MÉDIA.

16. Řešitel projektu FRVŠ 10/2007, TO F1, specifikace a.  
Název projektu: INOVACE LABORATORNÍ VÝUKY PŘEDMĚTU LOGICKÉ OBVODY.
17. Spoluřešitel projektu FRVŠ 1642/2006, TO F1, specifikace a.  
Název projektu: INOVACE PŘEDMĚTU ELEKTRONIKA I.
18. Řešitel projektu FRVŠ 1447/2005, TO F1, specifikace d.  
Název: MULTIMEDIÁLNÍ PODPORA VÝUKY V PŘEDMĚTU LOGICKÉ OBVODY.
19. Řešitel projektu FRVŠ 322/2004, TO F1, specifikace a.  
Název projektu: ROZVOJ PŘEDMĚTU PRVKY ELEKTRONICKÝCH OBVODŮ
20. Řešitel projektu FRVŠ 1763/2003, TO F1, specifikace a.  
Název projektu: ROZVOJ PŘEDMĚTU LOGICKÉ OBVODY.
21. TESAŘ, Z., PETŘÍKOVÁ, I. Aktivní diferenciální sonda ADS 1 N-S. 2011 (funkční vzorek).
22. TESAŘ, Z., PETŘÍKOVÁ, I. Aktivní diferenciální sonda ADS 2 S-N. 2011 (funkční vzorek).

## Seznam příloh

	počet stran
Příloha 1 – Měření na nerušeném účastnickém vedení	9
Příloha 2 – Měření na rušeném účastnickém vedení mikrovlnnou troubou	9
Příloha 3 – Měření na rušeném účastnickém vedení elektrickou příklepovou vrtačkou	9
Příloha 4 – Měření na rušeném účastnickém vedení ručním mixerem	9
Příloha 5 – Měření na rušeném účastnickém vedení vysoušečem vlasů	9
Příloha 6 – Měření na rušeném účastnickém vedení obvodem s relé napájeným 15 V	11
Příloha 7 – Měření na rušeném účastnickém vedení obvodem s relé napájeným 230 V	11